

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
METALÚRGICA E DOS MATERIAIS-PPGEMM

ANÁLISE DE DESCONTINUIDADES E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DE UM
MACIÇO ROCHOSO NA MINA RIO DOS BUGRES, SC

Por

ALVARO J. CASTRO CAICEDO

Engenheiro de Minas

Dissertação realizada no Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro -LPM-, do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais.

Porto Alegre

Novembro de 1995

**ANÁLISE DE DESCONTINUIDADES E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DE UM
MACIÇO ROCHOSO NA MINA RIO DOS BUGRES, SC**

DISSERTAÇÃO

**Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Metalúrgica e dos Materiais-PPGEMM, da Universidade Federal do Rio Grande
do Sul-UFRGS, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de**

MESTRE EM ENGENHARIA

Área de Concentração: Metalurgia Extrativa/Tecnologia Mineral

Por

Alvaro Jesus Castro Caicedo

Engenheiro de Minas

1995

**ESCOLA DE ENGENHARIA
BIBLIOTECA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração Metalurgia Extrativa/Tecnologia Mineral, e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador:

Prof. Jair C. Koppe D. Sc. PPGEMM-UFRGS

Banca examinadora:

Prof. Dr. André Jablonski

Departamento de Engenharia de Minas, UFRGS

Prof. Dr. Carlos Petter

Departamento de Engenharia de Minas, UFRGS

Prof. Dr. Way Ying Yug Gehling

Departamento de Engenharia Civil, UFRGS

Coordenador do Curso de Pós-Graduação:

Prof. Dr. Telmo Strohaecker

Este trabalho é dedicado à minha família, especialmente aos meus pais Claudio e Martha; aos meus irmãos Gilberto e Claudio; e aos meus amigos.

Este trabajo es dedicado a mi familia; especialmente a mis padres, Claudio y Martha, a mis hermanos Gilberto y Claudio; y a mis amigos.

AGRADECIMENTOS

Quero registrar meu agradecimento de forma especial ao Orientador Prof. Dr. Jair C. Koppe, pela acolhida no LPM e pelos esclarecimentos e sugestões durante a realização deste trabalho.

Da mesma forma, ao Professor João Felipe Costa do Departamento de Engenharia de Minas e do LPM, seu espírito de colaboração e impulso para o desenvolvimento do Departamento constituem um dos melhores aprendizados adquiridos nesta Universidade.

Ao LPM, nas pessoas do André Zingano, Marcelo Godoy e Luis Eduardo de Souza.

Ao Geólogo e engenheiro Juan A. Flores, do Instituto de Geociências, sua colaboração para a realização deste trabalho será lembrada com agradecimento.

Ao Prof. Geólogo Dr. Arthur Bastos Neto do Instituto de Geociências. Ao Acadêmico Dorval C. Dias, do Curso de Geologia da UFRGS, pela sua colaboração durante os trabalhos de campo, e na certeza de sucesso na sua carreira profissional.

Aos profissionais da Mineração Santa Catarina, especialmente ao engenheiro Clóvis Bevilacqua e equipe de trabalho.

À Fundação de Ciência e Tecnologia-CIENTEC, entidade que apresentou invaluable colaboração para este trabalho, na pessoa dos engenheiros Luiz Zorzi e Clovis Gonzatti.

Aos professores e funcionários do PPGEMM.

Às instituições financiadoras deste trabalho, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq e Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Aspectos da mina Rio dos Bugres	1
1.2 Objetivos gerais	3
1.3 Objetivos específicos	3
1.4 Metodologia de trabalho	3
1.5 Trabalhos anteriores	4
2. DESCONTINUIDADES GEOESTRUTURAIS	5
2.1 Introdução	5
2.2 Tipos principais de feições estruturais	5
2.3. Parâmetros descritivos	7
2.4. Parâmetros quantitativos	10
2.4.1 Frequência	12
2.4.2 Comprimento	14
2.4.3 Espaçamento	17
2.4.4 Designação qualitativa das rochas, RQD	22
3. LEVANTAMENTO ESTRUTURAL ATRAVÉS DO MÉTODO DA SCANLINE	25
3.1 Introdução	25
3.2 Descrição do método	26
3.3 Estimativa da designação qualitativa das rochas, RQD	28
4. CLASSIFICAÇÃO DOS MACIÇOS ROCHOSOS FRATURADOS ATRAVÉS DO SISTEMA RMR	33
4.1 Introdução	33
4.2 Parâmetros de classificação	35
4.3 Procedimento	37
4.4 Recomendações	41

5. ASPECTOS GEOLÓGICOS E ESTRUTURAIS NA MINA RIO DOS BUGRES	42
5.1 Geologia regional	42
5.2 Geologia local	44
5.3 Litologias presentes	45
5.4 Processos de alteração presentes na área	48
5.5 Tectônica regional	49
5.6 Tectônica local	50
5.7 Caracterização dos filões mineralizados	51
6. METODOLOGIA DO LEVANTAMENTO ESTRUTURAL NA MINA	55
6.1 Introdução	55
6.2 Levantamento estrutural nas galerias	55
6.3 Cálculo do RQD dos testemunhos de sondagem	58
7. RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE DAS DESCONTINUIDADES GEOESTRUTURAIS	61
7.1 Orientação	61
7.2 Mergulho	65
7.3 Espaçamento entre descontinuidades adjacentes	68
7.4 Modelamento bidimensional da densidade de fraturamento	72
7.5 RQD calculado para os testemunhos de sondagem	77
7.6 RQD teórico dos setores mapeados	79
8. CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA ATRAVÉS DO SISTEMA RMR	83
8.1 Introdução	83
8.2 Procedimento	84
8.3 Resultados	85
8.4 Correlações	93
9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
ANEXOS	
Anexo A - Planilhas de levantamentos estruturais	110
Anexo B - Estereogramas e diagramas de rosetas por setores	140
Anexo C - Ensaio em amostras de rocha	145

LISTA DE FIGURAS

1.1- Localização da Mina Rio dos Bugres.	1
1.2- Metodo de lavra corte e enchimento ascendente.	2
2.1- Frequência de uma família de descontinuidades situadas sobre um plano, em relação a uma linha de referência.	13
2.2- Traços de descontinuidades interceptando uma linha de referência sobre uma face planar de um maciço rochoso.	15
2.3- Distribuições teóricas de espaçamento entre descontinuidades.	19
3.1- Diagrama representando levantamento estrutural através do método da <i>scanline</i> .	27
3.2- Variação do RQD teórico com relação ao espaçamento médio entre descontinuidades.	30
3.3- Relação entre o RQD teórico e a frequência de descontinuidades.	31
5.1- Cinturão orogênico Dom Feliciano.	42
5.2- Geologia da região compreendida entre Montevideu e Florianópolis coma a localização da mina Rio dos Bugres.	43
6.1- Representação esquemática da área delimitada para o levantamento estrutural realizado pelo método da <i>scanline</i> .	56
6.2- Determinação do RQD nos testemunhos de sondagem.	60
6.3- Disposição das sondagens na área da Mina Rio dos Bugres.	60
7.1- Diagrama polar e de rosetas para as descontinuidades registradas no Nível 18.	62
7.2- Diagrama polar e de rosetas para as descontinuidades registradas no Nível 60.	63
7.3- Diagrama polar e de rosetas para as descontinuidades registradas no Nível 102.	63
7.4- Diagrama polar e de rosetas para as descontinuidades registradas no Nível 152.	64
7.5- Diagrama polar e de rosetas para as descontinuidades registradas no Nível 223.	64

7.6- Histograma do ângulo de mergulho para as descontinuidades registradas no Nível 18.	65
7.7- Histograma do ângulo de mergulho para as descontinuidades registradas no Nível 60.	66
7.8- Histograma do ângulo de mergulho para as descontinuidades registradas no Nível 102.	66
7.9- Histograma do ângulo de mergulho para as descontinuidades registradas no Nível 152.	67
7.10- Histograma do ângulo de mergulho para as descontinuidades registradas no Nível 223.	67
7.11- Histograma do espaçamento para as descontinuidades adjacentes registradas no Nível 18.	70
7.12- Histograma do espaçamento para as descontinuidades adjacentes registradas no Nível 60.	70
7.13- Histograma do espaçamento para as descontinuidades adjacentes registradas no Nível 102.	71
7.14- Histograma do espaçamento para as descontinuidades adjacentes registradas no Nível 152.	71
7.15- Histograma do espaçamento para as descontinuidades adjacentes registradas no Nível 223.	72
7.16- Diagramas representando a densidade linear de fraturamento registrada nos Acessos da mina Rio dos Bugres.	74
7.17- Diagramas representando a densidade linear de fraturamento registrada nas Cabeceira S1 da mina Rio dos Bugres.	75
7.18- Diagramas representando a densidade linear de fraturamento registrada nas Cabeceiras S2 da mina Rio dos Bugres.	76
7.19- Relação entre o RQD teórico mínimo e a frequência de descontinuidades λ nos setores mapeados na mina Rio dos Bugres.	81
7.20- Relação entre o RQD teórico, a frequência de descontinuidades λ e o ajuste linear calculado.	82
8.1- Estereograma e diagrama de rosetas dos pólos das descontinuidades registradas no setor 1, Nível 102.	85
8.2- Estereograma e diagrama de rosetas dos pólos das descontinuidades registradas no setor 2, Nível 102.	86

8.3- Estereograma e diagrama de rosetas dos pólos das descontinuidades registradas no setor 3, Nível 102.	87
8.4 - Estereograma e diagrama de rosetas dos pólos das descontinuidades registradas no setor 4, Nível 102.	88
8.5- Estereograma e diagrama de rosetas dos pólos das descontinuidades registradas no setor 5, Nível 102.	89
8.6- Estereograma e diagrama de rosetas dos pólos das descontinuidades registradas no setor 6, Nível 102.	90
8.7- Estereograma e diagrama de rosetas dos pólos das descontinuidades registradas no setor 7, Nível 102.	91
Planta 8.1 - Classificação geomecânica através do Método RMR no nível 102 da mina Rio dos Bugres.	92
8.8- Relação entre tempo de auto-sustentação e vão livre para as classes de maciços rochosos no sistema RMR.	94

LISTA DE TABELAS

4.1- Classificação da resistência da rocha não alterada, de Deere e Miller.	35
4.2- Parâmetros de classificação e correspondente avaliação utilizados nos sistema de classificação RMR.	38
4.3- Ajuste devido à orientação das descontinuidades.	40
4.4- Classificação do maciço determinada a partir da avaliação total.	40
4.5- Significado geotécnico da classificação do maciço rochoso através do sistema RMR.	40
4.6- Efeito da direção e mergulho das descontinuidades.	41
6.1- Modelo de planilha usado para o registro das descontinuidades nos levantamentos realizados nas galerias através do método da <i>scanline</i> .	58
6.2- Coordenadas UTM dos furos de sondagem na mina Rio dos Bugres.	59
7.1- Resultados obtidos a partir da análise estatística básica para os valores do espaçamento entre descontinuidades adjacentes.	69
7.2- Valores dos deslocamentos horizontais calculados para os setores mapeados mostrados nas escalas gráficas das Figuras 7.16 a 7.18.	77
7.3- Resultados dos valores do RQD calculados em sondagens da Mina Rio dos Bugres.	78
7.4- Cálculo do RQD teórico para os setores mapeados da Mina Rio dos Bugres	79
7.5- Comparação entre valores do RQDT obtidos para valores base de 0,1 e 0,2m.	80
8.1- Avaliação dos parâmetros de classificação do sistema RMR no Setor 1 do Nível 102.	85
8.2- Avaliação dos parâmetros de classificação do sistema RMR no Setor 2 do Nível 102.	86

8.3- Avaliação dos parâmetros de classificação do sistema RMR no Setor 3 do Nível 102.	87
8.4- Avaliação dos parâmetros de classificação do sistema RMR no Setor 4 do Nível 102.	88
8.5- Avaliação dos parâmetros de classificação do sistema RMR no Setor 5 do Nível 102.	89
8.6- Avaliação dos parâmetros de classificação do sistema RMR no Setor 6 do Nível 102.	90
8.7- Avaliação dos parâmetros de classificação do sistema RMR no Setor 7 do Nível 102.	91

RESUMO

A mina subterrânea de Rio dos Bugres, localizada no Município de Rio Fortuna, Estado de Santa Catarina, constitui um dos projetos mais importantes, atualmente em desenvolvimento, para o aproveitamento de minério de flúor no Brasil.

Este trabalho pretende ampliar o conhecimento das condições geológicas e estruturais encontradas na mina, com esta finalidade foi realizada uma avaliação qualitativa do maciço rochoso, fundamentada na análise das descontinuidades geoestruturais e em uma classificação geomecânica.

Na fase de campo foram desenvolvidos mapeamentos geológicos e estruturais nas principais galerias da mina através do método da *scanline*; a descrição de testemunhos de sondagem e a execução de ensaios geomecânicos em laboratório. As informações foram integradas e acrescidas com outras, de forma a obter-se a classificação geomecânica do maciço rochoso através do sistema RMR (*Rock Mass Rating*).

A avaliação qualitativa do maciço foi realizada por meio de aspectos como o espaçamento entre descontinuidades e o RQD, (*Rock Quality Designation*) determinado convencionalmente e através da técnica da *scanline*.

O estudo do espaçamento entre descontinuidades permitiu avaliar a intensidade de fraturamento do maciço, com este parâmetro comparativo, os níveis 60, 102 e 223 e a estrutura portadora do filão 1 registraram-se, de forma geral, mais fraturados que os níveis 18 e 152 e a estrutura hospedeira do filão 2.

O sistema de classificação RMR possibilitou determinar, nos setores estudados, que as duas estruturas filonianas apresentam qualidade geomecânica inferior a aquela das rochas encaixantes. Através desta classificação também foram realizadas estimativas de aspectos como: o carregamento sobre o escoramento, o tempo de auto-sustentação do maciço e do módulo de deformação da rocha, entre outros.

ABSTRACT

The Rio dos Bugres underground mine is one of the most important projects in Brazil mining fluorite ore at present. The mine is located at the Rio Fortuna region in the Santa Catarina State.

This work is intended to increase the knowledge of the geological and structural conditions presents at the Rio dos Bugres mine. For this purpose, a qualitative assessment of the rock mass was developed based on a discontinuity analysis and geomechanics classification.

Structural and geological mapping were developed at the main access of the mine by means of scanline survey method, borehole description and geotechnical testing. This information was integrated to obtain a geomechanical classification of rock mass by means of Rock Mass Rating system.

Further, the qualitative description of the rock mass was developed using discontinuity spacing and RQD (Rock Quality Designation) index, which was determined by conventional and scanline survey methods.

The study of discontinuities in the rock allows the evaluation of the intensity of breakage in the rock mass. This comparative parameter indicates that 60, 102 and 223 mine levels and the named vein structure 1 are more fractured than 18 and 152 mine levels and vein structure 2.

In the different mine sectors studied, the RMR geomechanics classification allows us to determinate that the ore body shows poorer geomechanical quality than enclosed wall rock. Nevertheless, the RMR classification system estimates the next geomechanical aspects of rock mass: support load, stand-up time and modulus of deformability of rock.

1. INTRODUÇÃO

1.1 ASPECTOS DA MINA RIO DOS BUGRES

1.1.1 Localização

A Mina Rio dos Bugres encontra-se situada a 15 km da área urbana do Município de Rio Fortuna, localizado na região sudeste do Estado de Santa Catarina, Brasil. A partir de Porto Alegre, o acesso pode ser realizado através das rodovias BR-101 e SC-444 até a cidade de Criciúma, a partir desta, pela estrada estadual SC-446 até a cidade de Braço do Norte, de onde a rodovia SC-482 conduz até o município de Rio Fortuna; finalmente, estrada municipal conduz até a localidade da mina. A localização da Mina Rio dos Bugres pode ser observada na Figura 1.1.

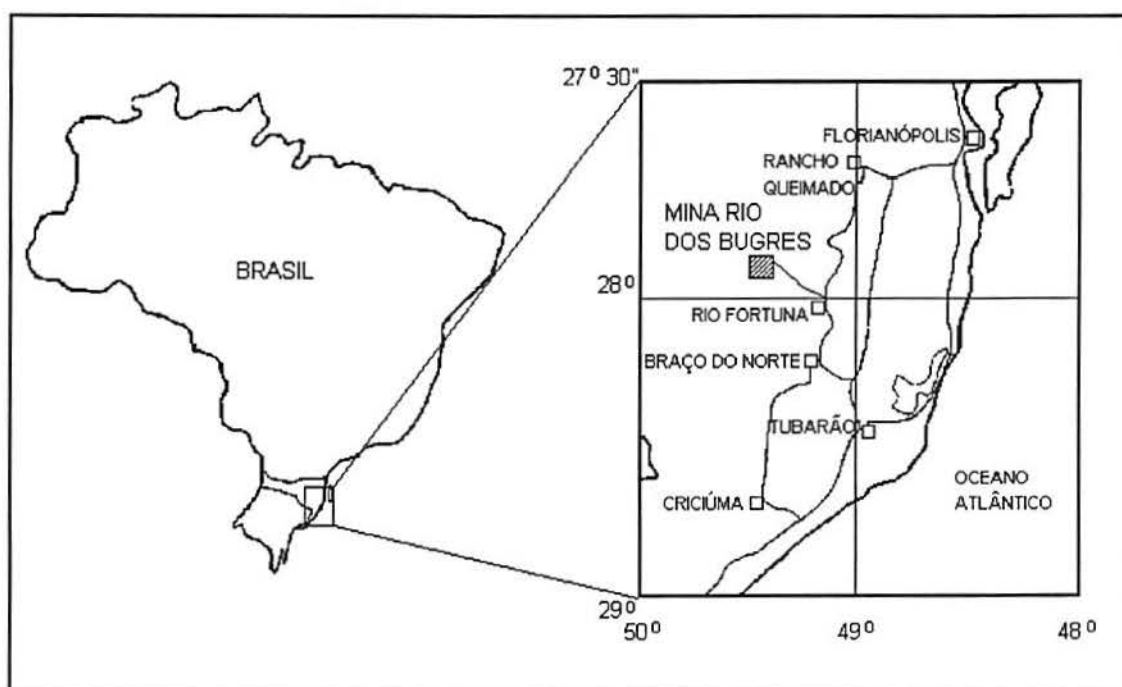


Figura 1.1 - Localização da Mina Rio dos Bugres em relação às principais cidades e rodovias da região sudeste do Estado de Santa Catarina.

Na área da mina, a fluorita de valor econômico encontra-se principalmente contida em dois filões, denominados de Filão 1 e Filão 2, aproximadamente paralelos, separados por uma distância média de oitenta metros e com direção variando entre N-S e N40E (Ferreira, 1982).

1.1.2 Método de lavra

O método de lavra planejado para os setores da mina Rio dos Bugres estudados neste trabalho, é o de corte e enchimento ascendente, (*overhand cut and fill*), representado esquematicamente na figura 1.2.

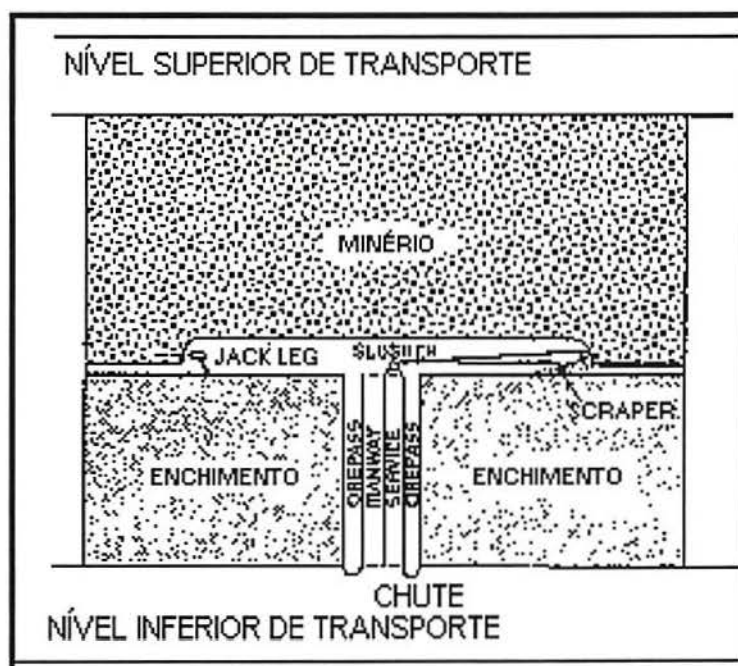


Figura 1.2 Método de lavra corte e enchimento ascendente, no qual o minério é extraído através dos *chutes* para o nível inferior, com o espaço deixado pelo minério sendo aterrado com um outro material. Modificado de Hartman (1992).

Na mina Rio dos Bugres, as galerias principais, denominadas de Cabeceira S1 e Cabeceira S2, abertas nos filões 1 e 2, são ligadas entre si por uma galeria perpendicular, chamada de Acesso. Em profundidade esta disposição determinou cinco níveis: 18, 60, 102, 152 e 223, com o acesso a cada um deles sendo realizado através de poço vertical, denominado de Poço 1.

Para Hartman (1992) o método corte e enchimento ascendente fundamenta suas vantagens em fatores tais como a disposição do corpo de minério, a seletividade da lavra e a utilização de material de preenchimento. No relacionado com a intensidade de fraturamento, o mesmo autor considera que valores baixos do

RQD tanto do corpo de minério como das paredes encaixantes, são características propícias para a utilização deste método.

1.2 OBJETIVOS GERAIS

A análise de descontinuidades e a classificação geomecânica do maciço rochoso que hospeda a mineralização de fluorita na mina Rio dos Bugres, visou possibilitar o estudo dos principais fatores geomecânicos e estruturais determinantes do comportamento do maciço rochoso, tendo em vista principalmente, as atividades de lavra. A partir da análise do conjunto de dados coletados será possível, entre outras atividades, melhorar o aproveitamento do corpo de minério, prever acidentes de trabalho e reduzir custos de operação.

O presente trabalho visa, também, o estabelecimento de uma classificação geomecânica que permita a comparação da situação encontrada na mina Rio dos Bugres, em relação a outras frentes subterrâneas com características semelhantes, no qual o mesmo método foi utilizado.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A análise das descontinuidades geoestruturais, presentes na área da mina Rio dos Bugres, pretende ampliar o conhecimento atual relacionado com a disposição, intensidade e localização dos fraturamentos principais existentes no maciço rochoso, processo conduzido de forma a obter-se, como produto final, a sua classificação geomecânica.

Desta forma, o presente trabalho visa três objetivos fundamentais:

- a- avaliar a intensidade e localização dos fraturamentos existentes no maciço rochoso.
- b- utilizar parâmetros como o espaçamento entre descontinuidades e o RQD para descrever o grau de fraturamento do maciço rochoso.
- c- efetuar uma classificação geomecânica em vários setores da mina, com uma metodologia ajustada às condições locais.

1.4 METODOLOGIA DE TRABALHO

Para alcançar os objetivos propostos foram desenvolvidas seis fases fundamentais, a saber: revisão bibliográfica, mapeamento geológico/estrutural, descrição de testemunhos de sondagem, realização de ensaios geomecânicos em laboratório, processamento dos dados e a análise dos resultados.

A revisão bibliográfica envolveu aspectos da geologia estrutural, das características geológicas da área em estudo e dos conceitos teóricos relacionados com o trabalho.

A coleta de dados de campo abrangeu levantamentos geológico/estruturais, efetuados através do método da *scanline*, assim como medições efetuadas sobre testemunhos de sondagem. Ensaio de resistência à compressão uniaxial foram realizados no laboratório de mecânica das rochas da CIENTEC, os dados obtidos foram então submetidos a análises estatísticas e probabilísticas.

Finalmente, foi desenvolvida a classificação geomecânica, realizada em diversos setores da mina, através do Sistema RMR (Bieniawski, 1974, 1989).

A apresentação, análise e interpretação dos dados e resultados foi conduzida com a integração dos vários tipos de informação disponível, incluindo aquelas provenientes da Empresa mineiradora, e com o auxílio de vários recursos computacionais.

1.5 TRABALHOS ANTERIORES

Os trabalhos existentes sobre a área da Mina Rio dos Bugres concentram-se nos relatórios de pesquisa desenvolvidos por equipes pertencentes à empresa de mineração (Ferreira, 1982; Santos, 1982). Estes trabalhos estão relacionados especialmente com os aspectos geológicos locais e regionais, não havendo conhecimento, até o momento, da existência de trabalhos relativos ao desenvolvimento de classificações geomecânicas.

2. DESCONTINUIDADES GEOESTRUTURAIS

2.1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de estudos geotécnicos em maciços rochosos parte, comumente, da avaliação das condições estruturais determinantes do seu comportamento geomecânico.

Desta forma, serão apresentados neste Capítulo, aspectos estruturais relacionados com maciços rochosos em geral, considerados de interesse para os propósitos deste trabalho. As condições encontradas na área de trabalho, serão apresentadas posteriormente no Capítulo 5.

Julga-se necessário esclarecer que o conceito de maciço rochoso, empregado neste trabalho, refere-se ao meio rochoso total *in-situ*, contendo portanto, feições estruturais tais como falhas, juntas, zonas de cisalhamento, contatos e planos de estratificação, entre outras. Para Brady e Brown (1985) este conceito realça aqueles fatores estruturais determinantes da natureza heterogênea e anisotrópica dos maciços rochosos.

2.2 TIPOS PRINCIPAIS DE FEIÇÕES ESTRUTURAIS

Em continuação, é apresentada uma revisão envolvendo conceitos geoestruturais e uma descrição das suas características relacionadas com a geomecânica, entretanto, considerando que feições estruturais são apresentadas com detalhe em textos de geologia estrutural e geologia de engenharia, os aspectos aqui apresentados são pertinentes aos objetivos deste trabalho.

Planos de estratificação: dividem as rochas sedimentares em camadas ou estratos, eles representam interrupções no curso da deposição do maciço rochoso. Planos de estratificação podem, eventualmente, conter material de granulometria diferente, enquanto que a resistência é determinada, principalmente, pela coesão entre os estratos. Por outro lado, a resistência ao cisalhamento é devida quase exclusivamente ao atrito. O processo deposicional produz a

orientação preferencial das partículas na rocha, propiciando o aparecimento de planos de fraqueza paralelos à estratificação (Brady e Brown, 1985).

Dobras: são estruturas nas quais as atitudes das camadas são alteradas pela flexão resultante, geralmente, da aplicação de forças tectônicas pós-deposicionais. As dobras podem apresentar dimensões consideráveis para a escala da mina ou do distrito mineral ou apresentar pequena escala local. Entre os principais efeitos ocasionados pelas dobras estão a alteração local da atitude das camadas e o fato de que algumas outras estruturas podem estar associadas com estas deformações (Brady e Brown, 1985).

Falhas: são fraturas nas quais ocorre deslocamento relativo de blocos de material rochoso. A abertura das falhas pode variar de vários metros, no caso de estruturas regionais, até alguns milímetros no caso de falhas locais (Hasui e Mito, 1992). Os planos de falha podem ser preenchidos por materiais resultantes da cominuição, tais como: argila, brechas, farinha de rocha ou outros fragmentos angulares. As superfícies dos planos de falha apresentam, frequentemente, espelhos de falha (*slickensides*), os quais podem estar recobertos com minerais detentores de baixa resistência ao atrito.

Ocasionalmente, setores próximos às falhas podem estar perturbados e fraturados por estruturas associadas com a falha principal. Fatores como estes podem ocasionar, naquelas áreas, baixas resistências ao cisalhamento, podendo eventualmente ocorrer deslizamentos (Brady e Brown, 1985).

Zonas de cisalhamento: são faixas de material, de vários metros de espessura, nas quais existem falhas de cisalhamento locais. Estas faixas representam zonas de alívio de tensão. As superfícies de fratura ocasionalmente são recobertas com material de baixa resistência, produzidos pelos processos de alívio de tensão ou pelo intemperismo. Como as falhas, as zonas de cisalhamento mostram baixa resistência ao cisalhamento, entretanto, autores como Brady e Brown (1985) consideram que estas últimas oferecem maior dificuldade para serem identificadas visualmente.

Diques: são intrusões alongadas e estreitas, discordantes das estruturas encaixantes, geralmente compostas por rochas ígneas de granulação fina, com lados escarpados aproximadamente verticais e paralelos. A largura pode variar desde alguns centímetros até alguns metros com comprimento considerável; as margens do dique são frequentemente fraturadas e alteradas durante a mineralização, sendo por esta razão, áreas potenciais para a concentração de movimentos do maciço (Brady e Brown, 1985).

Juntas ou diaclases: são fraturas de origem geológica ao longo das quais não é visível nenhum deslocamento, várias juntas paralelas compõem uma família de juntas (*joint set*) e um conjunto de famílias formam um sistema de juntas (*joint system*). As juntas são as estruturas mais comuns e via de regra as mais significativas geotectonicamente (Brady e Brown, 1985). As juntas frequentemente são paralelas aos planos de estratificação, às juntas de foliação ou de clivagem.

A Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas ISRM, (ABGE, 1983), recomenda o uso da designação *descontinuidade* como o termo genérico aconselhado para referir-se a qualquer descontinuidade mecânica do maciço rochoso que apresente nenhuma ou baixa resistência à tração; desta forma *descontinuidade* é um termo coletivo, aplicado para feições estruturais tais como juntas, planos de estratificação, planos de xistosidade mais fracos, zonas de fraqueza, contatos, falhas, fissuras e microfissuras.

A recomendação da ISRM, será seguida neste trabalho tendo em vista a unificação das nomenclaturas existentes e suas vantagens subsequentes.

As descontinuidades serão descritas através dos seus parâmetros, separados em dois grupos: parâmetros descritivos e parâmetros quantitativos.

2.3 PARÂMETROS DESCRITIVOS

Para descrever as descontinuidades dos maciços rochosos são usados os seguintes parâmetros, definidos pela Sociedade Internacional de Mecânica das

Rochas e apresentados pelo Comitê Brasileiro de Mecânica das Rochas (ABGE, 1983):

Orientação: Atitude da descontinuidade no espaço. Descrita pela direção do mergulho (medida no sentido horário a partir do norte) e o mergulho da linha de maior inclinação sobre o plano da descontinuidade. A orientação das descontinuidades relativas à faces da escavação exerce poder dominante sobre o potencial de instabilidade devido as quedas de blocos e deslizamentos.

Espaçamento: Distância perpendicular entre descontinuidades adjacentes. Propriedades de engenharia de maciços rochosos, tais como cavabilidade, permeabilidade e fragmentação variam com o espaçamento entre as descontinuidades.

A ISRM (ABGE, 1983) sugere a seguinte terminologia para descrever o espaçamento:

Descrição	Espaçamento (mm)
Extremamente pequeno	< 20
Muito pequeno	20 - 60
Pequeno	60 - 200
Moderado	200 - 600
Grande	600 - 2000
Muito grande	2000 - 6000
Extremamente grande	> 6000

Persistência: Extensão do traço de uma descontinuidade conforme observado em um afloramento. Pode ser uma medida aproximada de sua extensão em área ou comprimento de penetração da descontinuidade. Se a descontinuidade finaliza em rocha intacta ou em outra descontinuidade a persistência diminui. É um dos parâmetros mais importantes mas também um dos mais difíceis de ser determinado. A classificação da persistência das descontinuidades, estabelecida pela ISRM (ABGE, 1983) é apresentada a seguir, em relação ao comprimento modal do traço, medido para cada sistema:

Descrição	Persistência (m)
Muito pequena	< 1
Pequena	1 - 3
Média	3 - 10
Grande	10 - 20
Muito grande	> 20

Rugosidade: É a ondulação da superfície relativa ao plano médio de uma descontinuidade. A rugosidade e a ondulação contribuem para a resistência ao cisalhamento. Ondulações em grande escala podem, também, modificar o mergulho local.

A ISRM (ABGE, 1983) sugere nomenclaturas para as formas de ocorrência típica das ondulações, elas são: escalonado (*stepped*), ondulado (*undulating*) e planar, cada uma pode ser subdividida ainda em rugosa, suave e espelho de falha (*slickenside*).

Resistência das Paredes: Resistência à compressão das paredes de uma descontinuidade. Comumente é menor que a resistência da rocha intacta devido ao intemperismo ou alteração das paredes. Se as paredes estão em contato, pode existir uma importante componente da resistência ao cisalhamento.

Abertura: Distância perpendicular entre paredes adjacentes de uma descontinuidade, este espaço pode ser preenchido por ar ou água. A abertura e sua variação exercem influência sobre a resistência do maciço, entretanto, seus efeitos são também importantes sobre a condutividade hidráulica e a permeabilidade.

Preenchimento: Material que separa as paredes de uma descontinuidade e que usualmente apresenta resistência inferior a aquela da rocha que lhe deu origem. Os materiais típicos de preenchimento são: areia, silte, argila, brecha e milonito. Também inclui filmes de materiais secundários, como por exemplo quartzo, pirita, veios de calcita e outros minerais.

A ISRM (ABGE, 1983) considera que o comportamento das descontinuidades preenchidas depende em grande parte das propriedades do material de preenchimento. Algumas destas propriedades seriam as seguintes:

- composição mineralógica;
- granulometria das partículas;
- teor de umidade e permeabilidade;
- largura do preenchimento.

Estas propriedades devem ser relacionados com fatores tais como:

- a existência de deslocamento anterior devido a cisalhamento,
- a rugosidade das paredes,
- o fraturamento, quebra ou alteração química das paredes rochosas.

Percolação: Fluxo de água e umidade livre, visíveis em descontinuidades individuais ou no maciço rochoso em geral.

Número de famílias: é o numero de famílias que compõem um sistema de juntas. O maciço rochoso pode conter também descontinuidades individuais.

Tamanho dos blocos: São as dimensões dos blocos de rocha que resultam da orientação das famílias de juntas que se interceptam e do espaçamento das famílias individuais. Descontinuidades individuais podem influenciar o tamanho e a forma dos blocos.

2.4 PARÂMETROS QUANTITATIVOS

A metodologia para a descrição quantitativa das descontinuidades estruturais foi reavaliada pela ISRM (ABGE, 1983), tentando-se “atingir algum grau de uniformidade nas descrições das descontinuidades dos maciços rochosos, como um auxílio à comunicação entre geólogos e engenheiros.” Considera, entretanto que, “os vários métodos sugeridos não deveriam ser tratados como normas, mas sim como referências. A descrição dos maciços rochosos e descontinuidades é necessariamente uma operação subjetiva e não se deve esperar que o mesmo grau de padronização possa ser atingido como nos testes de laboratório”.

De qualquer forma, as características das descontinuidades passíveis de ser quantificadas devem ser estimadas tão acuradamente quanto possível.

Estas características possuem a propriedade de serem aleatórias, sendo por isto necessário a aplicação de métodos estocásticos (probabilísticos e estatísticos) mais do que determinísticos.

A bibliografia consultada refere-se à aplicação de técnicas estatísticas para algumas das características descritivas anteriormente mencionadas, assim, a quantificação de características das descontinuidades é, principalmente, focalizada sobre as seguintes propriedades:

- localização,
- orientação,
- quantidade.

A quantidade de descontinuidades pode ser descrita através do espaçamento, comprimento, persistência e frequência.

Os outros parâmetros descritivos são quantificados unicamente em alguns casos, seja porque estão diretamente relacionados com aqueles acima mencionadas ou por circunstâncias particulares, concernentes a objetivos específicos do trabalho.

Os dados referentes à localização e orientação das descontinuidades podem ser representados de várias maneiras, dependendo dos objetivos do trabalho. Para a realização deste trabalho será seguida recomendação da ISRM (ISRM, 1978, ABGE, 1983). Os métodos utilizados foram os gráficos, como a projeção esférica e o diagrama de rosetas, devidos, principalmente, a sua clareza, facilidade de construção e de interpretação. Considerando que estes métodos são amplamente difundidos, neste trabalho não serão realizados maiores detalhes.

Entretanto, o trabalho com características das descontinuidades tais como o espaçamento e a persistência exige alguns procedimentos, apresentados a

seguir, relacionados tanto com a obtenção dos dados como com a apresentação dos resultados.

2.4.1 Frequência

A quantidade de descontinuidades, existentes num maciço rochoso, pode ser avaliada através da sua frequência, definida como o número médio de descontinuidades, por unidade de comprimento, que interceptam um furo de sondagem ou uma escala de medição, colocada sobre uma superfície do maciço.

De forma semelhante, é possível estender esta definição para duas e três dimensões, através da determinação de setores do maciço para os quais tenha sido registrada a mesma frequência de ocorrência das descontinuidades, determinando assim, setores com densidades de fraturamento variando dentro de intervalos determinados, de forma similar aos mapas de isolinhas, ou de curvas de contorno.

O conceito de frequência das descontinuidades pode ser melhor compreendido considerando inicialmente um único conjunto de descontinuidades paralelas, persistentes e planares, produzidas pela sua interseção com um plano, como mostrado na Figura 2.1, desta forma, a frequência, designada de λ é medida ao longo de uma linha perpendicular às descontinuidades e sobre o plano de interseção; este método permite a obtenção da frequência diretamente no campo (Hudson e Priest, 1979).

Se a frequência é determinada a partir de uma linha de referência disposta em um ângulo agudo θ , com relação à normal às descontinuidades, o valor da frequência λ_θ é:

$$\lambda_\theta = \lambda \cos \theta \quad [2.1]$$

No caso no qual existem dois ou mais conjuntos de descontinuidades, a frequência resultante será a devida à contribuição de cada um desses conjuntos (Hudson e Priest, 1979), como visto na Figura 2.1c

$$\lambda_\theta = \lambda_1 \cos \theta + \lambda_2 \sin \theta \quad [2.2]$$

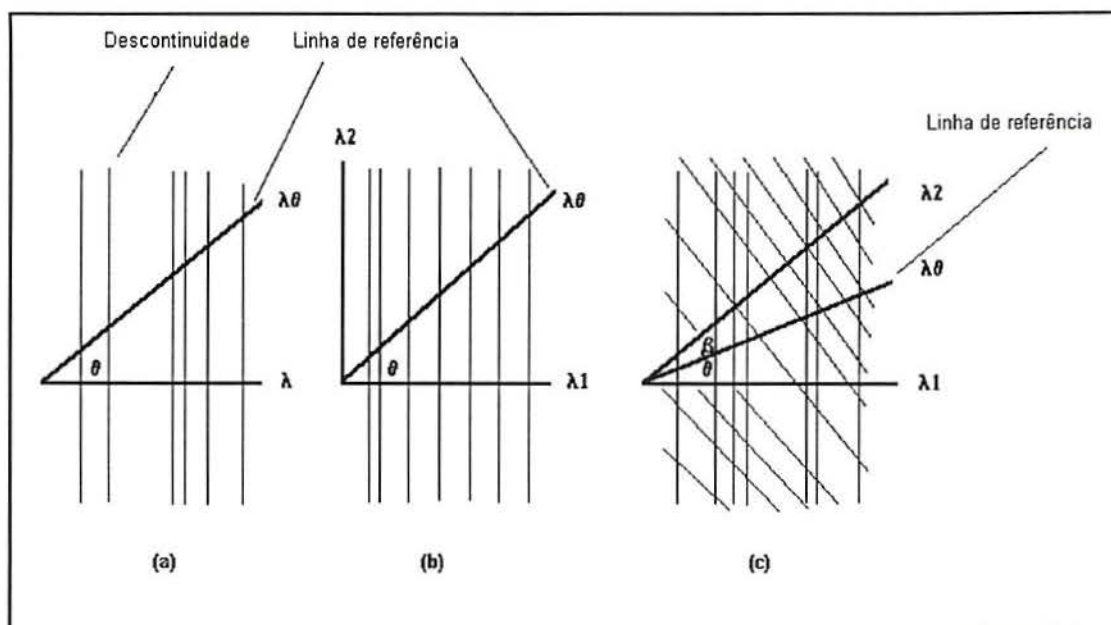


Figura 2.1. - Frequência λ de uma família de descontinuidades, situadas sobre um plano, em relação a uma linha de referência. (a) e (b) um único conjunto de descontinuidades, (c) dois conjuntos de descontinuidades. Fonte: Hudson e Priest (1979).

Hudson e Priest (1979) mostram também que este princípio de adição pode ser estendido para três dimensões e qualquer número de famílias de descontinuidades, assim:

$$\lambda_{\theta} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cos \theta_i \quad [2.3]$$

onde λ_i é a frequência da i -ésima família ao longo da normal até a i -ésima família e θ_i é o ângulo agudo entre a linha de referência e a normal à i -ésima família, sendo n é o número de famílias.

Obtida a orientação da fita métrica ou do furo de sondagem, e a normal a cada uma das famílias, os valores do ângulo θ_i podem ser determinados através da projeção estereográfica (Hudson e Priest 1979).

Deve-se levar em consideração, ainda, que a frequência das descontinuidades ao longo de uma linha de referência, é função tanto da frequência individual do conjunto de descontinuidades quanto da orientação da linha de referência em relação a estes conjuntos. Isto significa que, dependendo da

orientação da linha de referência, poderá haver frequências mais altas ou mais baixas para o mesmo conjunto de descontinuidades.

O número de descontinuidades, presentes em um maciço rochoso, está diretamente relacionado tanto com o espaçamento quanto com a persistência. A ISRM (ABGE, 1983), ao referir-se à persistência, conclui que ela pode ser grosseiramente quantificada pela observação do comprimento do traço da descontinuidade ao longo do plano de exposição. Ressalta, também, que a persistência constitui um dos parâmetros de maior importância para o conhecimento dos maciços rochosos, entretanto, apresenta-se como um dos mais difíceis de quantificar, mesmo de maneira grosseira.

O grau de persistência das descontinuidades, principalmente daquelas orientadas desfavoravelmente em relação à estabilidade, influencia a probabilidade de ruptura do maciço.

2.4.2 Comprimento

O comprimento de uma descontinuidade é definido como o traço da descontinuidade, possível de ser medido, produzido pela interseção entre o plano da descontinuidade e o plano de uma face da rocha (Priest e Hudson, 1981). O ponto de finalização do traço pode não ser visível durante o mapeamento, devido, entre outros fatores, à forma da escavação, à erosão, a presença de vegetação ou algum outro obstáculo que impossibilite a observação.

A ISRM (1978) considera que a medição do comprimento de uma descontinuidade possibilita a quantificação grosseira da persistência de uma família ou sistema de descontinuidades, no entanto, sua quantificação por este meio é considerada difícil, devido a que as dificuldades e incertezas envolvidas nos processos de medição no campo são sempre consideráveis.

A média do comprimento do traço das descontinuidades numa face, pode ser determinada através da medição do traço das n descontinuidades que interceptam uma linha de referência arbitrada, como a vista na Figura 2.2. Para

Priest e Hudson (1981), este procedimento apresenta duas desvantagens, a primeira consiste em que a linha de referência tenderá a cortar preferencialmente aquelas descontinuidades que possuem maior comprimento do traço, e a segunda, mencionada por Cruden (1977), é que descontinuidades particularmente extensas podem estender-se além do limite de visibilidade.

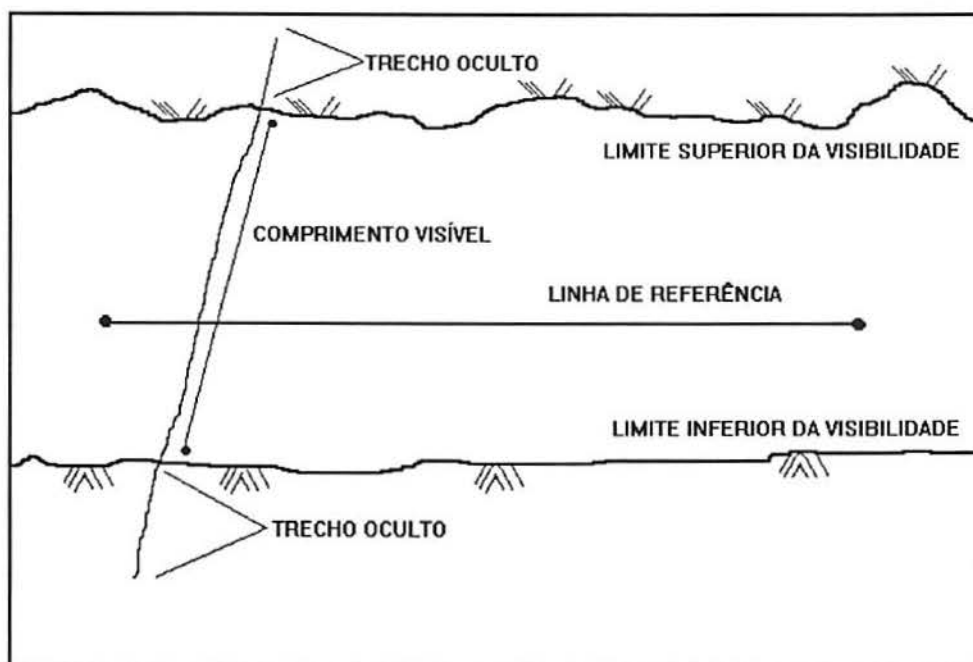


Figura 2.2- Traços de descontinuidades (a) cortando uma linha de referência (b) sobre uma face planar de um maciço rochoso. Fonte: Priest e Hudson, (1981).

Cruden (1977) também ressalta a questão das descontinuidades muito pequenas, as quais são de difícil, senão impossível medição. Estas descontinuidades produzem um número desconhecido de medidas do comprimento do traço truncadas abruptamente, em algum valor baixo, valor que dependeria do procedimento de medição empregado.

Pesquisadores como Priest e Hudson (1981) consideram que comprimentos de traço com pelo menos 10 cm são possíveis de ser medidos, tanto no campo como em fotografias; assim, truncamentos neste nível determinam pouco efeito sobre os dados, particularmente se a média do comprimento está na ordem dos metros.

Xing e Guohua (1990), consideram que as técnicas de medição para o comprimento das descontinuidades estão divididas em três tipos:

- 1- medição dos traços que cortam uma linha de referência situada na superfície de exposição, método conhecido como *scanline*,
- 2- medição de todos os traços do afloramento,
- 3- medição dos traços presentes numa área de tamanho finito, definida no afloramento.

Seguindo um destes três métodos, os mesmos pesquisadores consideram que erros de amostragem podem ocorrer devido aos seguintes fatores:

- erro devido ao tamanho das descontinuidades: descontinuidades grandes tem maior probabilidade de ser amostradas do que as pequenas.
- erro devido ao método de levantamento: descontinuidades cujos pontos de finalização podem ser observadas, mas que proporcionam baixas estimativas dos seus comprimentos.
- erro de truncamento: comprimentos abaixo de um certo valor limite são difíceis de ser registrados.

Pesquisadores como Priest e Hudson (1981), Einstein e Baecher (1983) e Xing e Guohua (1990), em trabalhos relacionados com a determinação de funções de distribuição de densidade de probabilidade (FDDP) do comprimento do traço de descontinuidades, encontraram algumas funções mais comuns; estas são principalmente: a exponencial negativa, a lognormal, a normal e a uniforme. Estes pesquisadores apresentam algumas características específicas destas funções, havendo na atualidade, estudos envolvendo os métodos necessários para conseguir minimizar o enviezamento dos dados e os erros encontrados nos levantamentos.

Cabe ressaltar que a FDDP exponencial negativa e a lognormal são os tipos de funções preferencialmente encontradas na prática, e relatadas pela bibliografia, para descrever a distribuição de probabilidade, tanto do comprimento como do espaçamento entre as descontinuidades.

Outras informações relacionadas com o comprimento das descontinuidades podem ser encontrados em: Cruden (1977), Baecher e Lanney (1978), Pahl (1981), Kulatilake e Wu (1984).

2.4.3 Espaçamento

O espaçamento entre descontinuidades determina em grande parte a possibilidade de ruptura do maciço rochoso, uma vez que define o tamanho dos blocos não fraturados.

Considerações da ISRM (ABGE, 1983), afirmam que pequenos espaçamentos tendem a definir baixa coesão do maciço, conferindo às rochas um comportamento mais próximo dos materiais granulares, enquanto que aqueles maciços com espaçamentos maiores oferecem melhores condições de intertravamento; estes efeitos estariam diretamente relacionados com a persistência das descontinuidades.

A importância do espaçamento aumenta quando existem outras condições favoráveis para a deformação, entre estes fatores são citados pela ISRM (ABGE, 1983), a baixa resistência ao cisalhamento e a presença de descontinuidades em número suficiente para produzir deslizamento. Por outro lado, quando existem espaçamentos extremamente pequenos, a orientação das descontinuidades assume menor importância, uma vez que a ruptura do material pode ocorrer tanto pela rotação quanto pelo desprendimento de pequenos pedaços de rocha.

Deve ser considerado, também, que o espaçamento entre descontinuidades individuais ou entre famílias exerce uma forte influência nas características hidrogeológicas, tais como a permeabilidade e a percolação no maciço.

Brady e Brown (1985), ressaltam que o mecanismo de deformação e ruptura no maciço pode variar com a proporção entre o espaçamento entre as descontinuidades e o tamanho da escavação.

Uma primeira aproximação para o estudo quantitativo do espaçamento entre descontinuidades indica que, devido a sua natureza aleatória, o espaçamento não pode ser definido por um único valor, e sim por uma série de valores, sendo necessário, portanto, um enfoque estatístico.

Assim, a população dos espaçamentos entre as descontinuidades pode ser considerada como consistindo de todos os possíveis valores do espaçamento encontrados numa determinada direção, através do domínio do maciço rochoso.

Priest e Hudson (1976,1979), como também Wallis e King (1980), realizando medições em rochas sedimentares, mostraram que a FDDP do espaçamento entre as descontinuidades apresentava uma distribuição que poderia ser representada aproximadamente por uma função do tipo exponencial negativa.

Priest e Hudson (1976), consideram que a FDDP do tipo exponencial negativa seria a distribuição resultante da combinação de três diferentes formas principais de ocorrência das descontinuidades, como mostrado na Figura 2.3d, estas são:

- descontinuidades regularmente espaçadas (Figura 2.3a);
- descontinuidades agrupadas (Figura 2.3b);
- descontinuidades com ocorrência aleatória (Figura 2.3c).

Desta forma a frequência $f(x)$, de um determinado espaçamento x , é determinado pela seguinte função exponencial:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad [2.4]$$

onde o parâmetro λ é o número médio de descontinuidades por unidade de comprimento, ou frequência das descontinuidades, sendo x_m a média dos espaçamentos, $\lambda=1/x_m$.

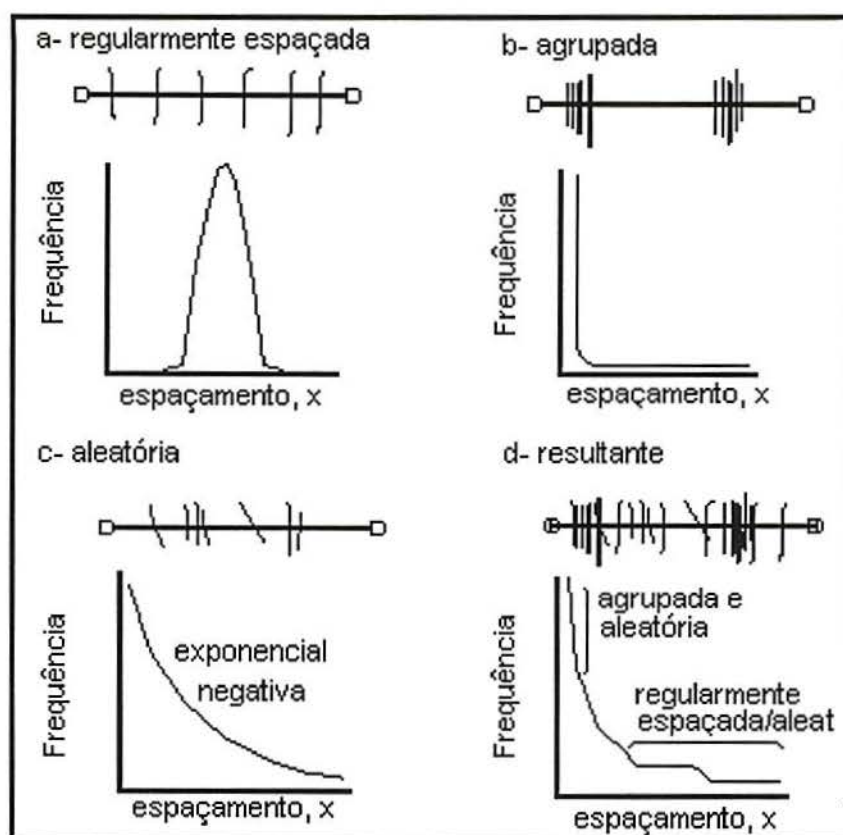


Figura 2.3- Distribuições teóricas de espaçamento entre descontinuidades. Fonte: Priest e Hudson (1976).

A FDDP exponencial, apresenta a particularidade de que a média e o desvio padrão da população são iguais ($1/\lambda$), ou que, para grandes amostras da população, elas tem o mesmo valor esperado. O uso da FDDP exponencial negativa possibilitaria realizar estimativas sobre, por exemplo, o provável tamanho de blocos e a probabilidade de que certas classes de interseções entre descontinuidades ocorram (Brady e Brown, 1985).

A probabilidade associada $F(x)$, de que um certo valor seja menor do que x é determinada por

$$F(x) = 1 - [(e^{-\lambda x})] \quad [2.5]$$

Hudson e Priest (1979) consideram que a FDDP do espaçamento é resultante da superposição de efeitos e não da adição simples, assim valores pequenos apresentam tendência a permanecer enquanto que os grande tendem a desaparecer. Estes mesmos autores concluem que a convergência para a forma

exponencial negativa deve-se a que os trechos intactos maiores fraturam aleatoriamente.

2.4.3.1 Estimativa da média do espaçamento:

Usualmente, na determinação e cálculo dos principais parâmetros estatísticos relativos a uma população de descontinuidades é necessária uma avaliação da acuracidade tanto da média calculada quanto dos resultados obtidos, tendo em vista o tamanho da amostra utilizada.

Quando o levantamento de um mesmo grupo de n descontinuidades é realizado em diferentes locais através de várias linhas de referência com a mesma direção, é possível, teoricamente, definir a FDDP das várias médias resultantes, x_m ,

A média dos espaçamentos x_m , é então calculada por

$$x_m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

onde x_i é o i -ésimo espaçamento medido e n o número total de medições em cada linha de referência.

De acordo com a teoria estatística a distribuição das médias do espaçamento terá, para grandes valores de n , tendência a apresentar as características de uma função de distribuição Normal ou Gaussiana, independentemente da FDDP do espaçamento (Priest e Hudson, 1981). Desta forma, uma amostragem de espaçamentos, aleatória e de tamanho n , tomada de uma população com uma FDDP qualquer, com média x_m e desvio padrão σ , tenderá a ser normalmente distribuída com média x_m e desvio padrão σ/\sqrt{n} . O termo σ/\sqrt{n} é chamado então de erro padrão da média.

A distribuição das médias é aproximadamente normal para n menor do que trinta, enquanto que para grandes valores de n esta normalidade é mais pronunciada (Priest e Hudson, 1981).

Na distribuição Normal, uma proporção $\theta(z)$ de todas as linhas de referência, terá um valor da média compreendida entre os valores $\pm z \sigma/\sqrt{n}$ a partir da média da população. Neste caso z é a variável padrão, associada com um certo nível de confiança estatístico.

Os valores de z e $\theta(z)$ são tabelados e podem ser encontrados em livros de estatística.

Para amostras de tamanho n , o intervalo de confiança é obtido da seguinte forma:

$$xm \pm \varepsilon xm$$

onde ε é o erro relativo

$$\varepsilon = z/\sqrt{n} \text{ ou } n = (z/\varepsilon)^2 \quad [2.6]$$

Desta forma

$$xm \pm (z \cdot xm)/\sqrt{n}$$

Assim a equação [2.6] pode ser usada para determinar o tamanho da amostra, necessária para obter uma faixa de erro, a partir de um certo nível de confiança requerido ou, então, para estabelecer o erro cometido a partir de uma certo tamanho de amostra.

Por exemplo, se a média do espaçamento é requerida dentro de uma faixa de erro de $\pm 20\%$ e com um nível de confiança de 80%, então $\varepsilon = 0,2$, $\theta(z) = 0,8$. Na tabela de valores para a curva Normal, $z = 1,282$; o número de medições necessárias (descontinuidades) será

$$n \geq \left(\frac{1,282}{0,2} \right)^2 = 41$$

Se a média do espaçamento é requerida dentro de uma faixa de erro de $\pm 10\%$ com um nível de confiança de 90%, teremos que $\varepsilon = 0,1$; $\theta(z) = 0,9$; o que define $z = 1,645$. Desta forma teremos:

$$n \geq \left(\frac{1,645}{0,1} \right)^2 = 271$$

Estes resultados mostram que são necessárias várias centenas de leituras para obter estimativas confiáveis.

Outro exemplo para o uso destas relações pode ser visto se, por exemplo, são realizadas medições em 80 descontinuidades, supondo que a média encontrada seja de 0,175 m e tomando um nível de confiança de 95%, $\theta(z) = 0,95$; então $z = 1,96$. O erro ε será encontrado então por

$$\varepsilon = \frac{1,96}{\sqrt{80}} = 0,219$$

o que determina um intervalo com limite inferior de 0,137 e superior de 0,213 para 95% de confiança.

2.4.4 Designação qualitativa das rochas, RQD

Na Geotécnica assim como na classificação de maciços rochosos, é usual o cálculo dos valores da Designação da Qualidade das Rochas, ou abreviadamente RQD (*Rock Quality Designation*). Este parâmetro, proposto por Deere em 1963, visa quantificar o grau de fraturamento do maciço.

Para um furo ou testemunho de sondagem o RQD é calculado da seguinte forma:

$$RQD = 100 \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{L}$$

Onde x_i é o comprimento dos testemunhos igual ou superior a 0,1 m e L é o comprimento total da sondagem correspondente.

Segundo Bieniawski (1989), Deere propôs a seguinte relação entre o valor numérico do RQD e a qualidade da rocha

RQD (%)	QUALIDADE DA ROCHA
< 25	Muito ruim
25-50	Ruim
50-75	Regular
75-90	Boa
90-100	Excelente

A Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas recomenda que o RQD seja estabelecido para testemunhos de diâmetro mínimo NX, isto é, 54,7 mm, recuperados com sondagem a diamante de barrilete duplo.

Autores como Bieniawski (1989) consideram que os diâmetro NX e NQ (47,5 mm) são os mais indicados para a determinação do RQD, mas que ele também pode ser determinado a partir de diâmetros compreendidos entre o BQ (36,5 mm) e PQ (85 mm) quando a sondagem foi cuidadosamente realizada.

Apesar de o RQD constituir um indicador de obtenção relativamente rápida e econômica, vários fatores determinam que seu uso seja realizado com precaução, alguns destes fatores são os seguintes:

a- O RQD não leva em consideração as condições geológicas e estruturais locais, tais como a resistência do material, as características das descontinuidades e as condições hidrogeológicas.

b- A diferenciação entre os fraturamentos produzidos pelo processo de sondagem daqueles que ocorrem naturalmente pode apresentar dificuldades.

c- Alguns pesquisadores, como Wallis e King (1980), discordam do valor *threshold* de 10 cm proposto por Deere e sugerem que este valor deveria ser função do comprimento da sondagem.

d- Descontinuidades paralelas ao furo de sondagem não são registradas.

e- Os resultados não são sempre representativos.

f- Como o RQD é função da orientação da sondagem em relação à orientação das descontinuidades, o mesmo maciço pode apresentar valor máximo numa direção e mínimo numa outra.

3. LEVANTAMENTO ESTRUTURAL ATRAVÉS DO MÉTODO DA SCANLINE

3.1 INTRODUÇÃO

Em todos os casos da prospecção geológica, um dos problemas centrais da amostragem está diretamente relacionado com a necessidade de quantificar o tamanho da amostra, ou, no caso dos levantamentos estruturais dentro dos maciços rochosos, o número de medições e a área ou extensão deste levantamento, elementos fundamentais para avaliar, com critérios estatísticos, a confiabilidade dos resultados.

Partindo do pressuposto de haver a necessidade desta avaliação estatística, permanece ainda a questão apontada pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ABGE, 1983), segundo a qual existem dois níveis básicos nos quais o mapeamento estrutural de um maciço rochoso pode ser efetuado, a saber: o subjetivo e o objetivo. No mapeamento subjetivo, o qual é considerado tendencioso, somente são descritas as descontinuidades que parecem ser importantes. No mapeamento objetivo, aleatório, ou ao acaso, são descritas todas as descontinuidades que interceptam uma linha de referência fixa ou uma área delimitada da rocha exposta.

Quanto à descrição objetiva, ela apresenta a desvantagem, frente ao levantamento subjetivo, de consumir maior tempo para sua realização (ABGE, 1983), sempre e quando a área de estudo seja comparável. Contudo, métodos objetivos apresentam características tais que permitem melhor aproximação estatística e probabilística dos seus dados, como aqueles apresentados no Capítulo 2.

De forma semelhante, é necessário conhecer qual o melhor procedimento recomendado, tanto pela prática, como pela bibliografia existente, para a melhor determinação das propriedades dos maciços rochosos, a partir de quantidades limitadas de dados, como é de comum ocorrência.

As características operacionais de um levantamento estrutural, realizado em centenas de metros de galerias subterrâneas, exigem condições operacionais particulares, tendo em vista, especialmente, a impossibilidade, encontrada no caso da Mina Rio dos Bugres, de estender o mapeamento em toda a área da mina. Desta forma, o método de levantamento aplicado, deve apresentar duas características fundamentais, a primeira, de natureza operacional, permitindo a execução relativamente rápida e fácil, e a segunda, de natureza interpretativa, possibilitando a aplicabilidade de métodos estatísticos para a avaliação dos dados obtidos.

Procurando levar em consideração estes fatores, o levantamento estrutural nas galerias da Mina Rio dos Bugres, foi realizado através do método da *scanline*, por considerar que ao mesmo tempo em que esta técnica apresenta as vantagens de um método objetivo de levantamento, apresenta-se também como o mais adequado para as condições e finalidades deste trabalho. O método de levantamento estrutural através da técnica da *scanline* será apresentado posteriormente.

Explicações mais detalhadas sobre levantamentos realizados a partir de acessos subterrâneos podem ser encontradas em ISRM (1978), ABGE (1983), e Brady e Brown (1985), ou em diversos textos de prospecção e pesquisa mineral.

3.2 DESCRIÇÃO DO MÉTODO

A *scanline* é uma linha de referência, situada sobre a superfície do maciço rochoso. O levantamento estrutural consiste no registro das características das discontinuidades que interceptam a *scanline* ao longo do seu comprimento. Uma representação esquemática do método da *scanline* é apresentada na Figura 3.1.

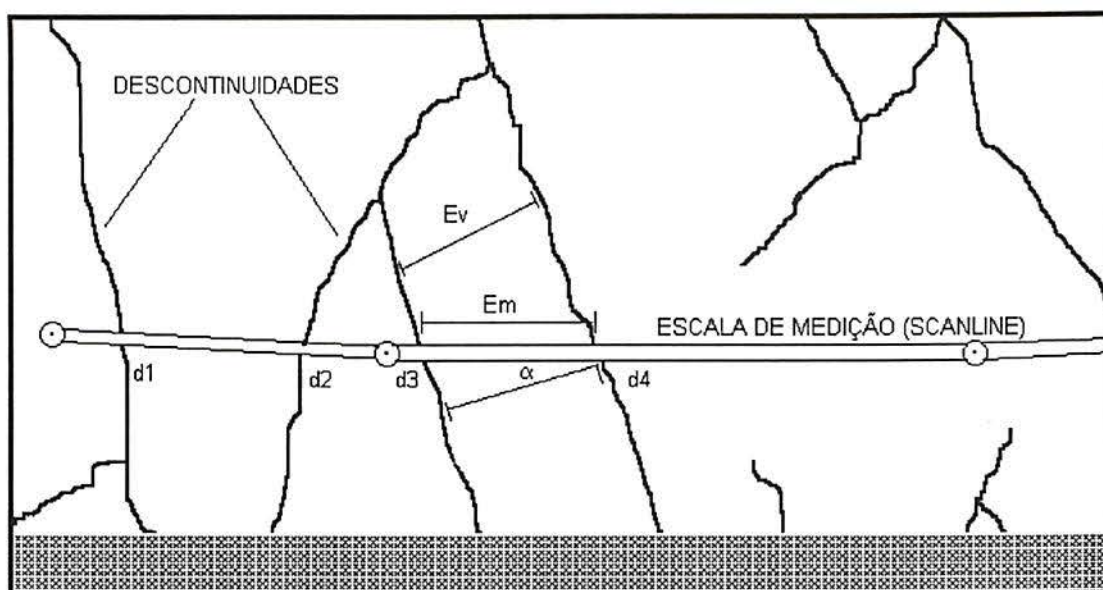


Figura 3.1 - Diagrama esquemático representando o levantamento estrutural através do método da *scanline*. d: distância da descontinuidade medida com relação à escala métrica; Em: espaçamento medido; Ev: espaçamento verdadeiro.

Uma outra opção semelhante é a medição de todas as descontinuidades contidas dentro de uma área limitada, definida sobre a superfície da rocha, entretanto, este tipo de levantamento apresenta-se mais difícil de controlar e de executar sistematicamente do que com o método da *scanline* (Brady e Brown, 1985).

Brady e Brown (1985), recomendam os seguintes parâmetros e características que o operador deveria registrar sistematicamente para cada uma das descontinuidades que interceptam a *scanline* :

- Distância ao longo da *scanline*, na qual a descontinuidade intercepta a escala métrica, fraturamentos ocasionados por detonações não devem ser considerados.
- Comprimento da descontinuidade.
- Natureza do ponto de finalização da descontinuidade; ele pode estar situado em uma outra descontinuidade; na rocha intacta; ser oculta ou ainda, continuar além do limite de exposição visual.
- Orientação do plano das descontinuidades, registrada através da direção do mergulho (*dip direction*) e o mergulho (*dip*). A medição deve efetuar-se próxima ou no ponto de interseção do plano com a *scanline*, usando bússola

do tipo Clark. Recomendação da ISRM (ABGE, 1983), sugere que a direção do mergulho seja medida no sentido horário a partir do norte verdadeiro (azimute do mergulho), e define o mergulho como sendo a inclinação da linha de maior declividade, situada sobre o plano da descontinuidade, medida em relação à horizontal.

- Curvatura, ou ondulação, numa escala numérica.
- Rugosidade das irregularidades de pequena escala, também numa escala numérica.
- Observações sobre o preenchimento, abertura, origem e classe das descontinuidades.

A bibliografia consultada considera que o estudo de casos, relacionados com a mecânica das rochas, tem demonstrado que o maciço rochoso pode ser dividido em zonas homogêneas, ou áreas dentro das quais o maciço mostraria propriedades geotécnicas e estruturais relativamente uniformes (Brady e Brown, 1985). Assim, recomenda-se que, quando possível, o levantamento pelo método da *scanline* seja efetuado sobre cada uma destas zonas.

Usualmente a *scanline* não atravessa as descontinuidades na direção perpendicular, sendo então necessário recalcular o espaçamento entre elas considerando o espaçamento medido (E_m), o espaçamento verdadeiro (E_v) e sua respectiva inclinação, como mostrado na Figura 3.1.

3.3 ESTIMATIVA DA DESIGNAÇÃO QUALITATIVA DAS ROCHAS, RQD

Como visto no Capítulo 2, o espaçamento entre as descontinuidades e sua frequência fornecem indicativos referentes à qualidade dos maciços rochosos; consequentemente, é possível estabelecer uma relação entre o número de descontinuidades presentes no maciço, e o parâmetro RQD de Deere (1963). Este valor do RQD pode ser encontrado, para um determinado maciço, a partir da FDDP dos valores do espaçamento entre as descontinuidades.

Priest e Hudson (1976), obtiveram esta relação realizando medições de descontinuidades em litologias sedimentares, especificamente arenitos, calcários e

argilitos. Para que isto fosse possível, estes pesquisadores consideraram que o espaçamento entre as descontinuidades ao longo de uma sondagem ou uma linha de referência, como no caso da *scanline*, seria descrito através de uma FDDP exponencial negativa.

O RQD calculado desta forma, chamado de teórico ou simbolicamente RQDT, compreenderia uma proporção de espaçamentos com valores maiores do que um determinado valor base t ; o RQDT será então:

$$RQDT = 100 e^{-t\lambda} (t\lambda + 1) \quad [3.1]$$

Para o RQD convencional, no qual $t=0,1$ m o valor teórico será:

$$RQDT = 100 e^{-0,1\lambda} (0,1\lambda + 1) \quad [3.2]$$

O termo λ é encontrado estatisticamente a partir da medição das descontinuidades no campo.

A partir da equação [3.1] pode-se observar que o RQDT varia conforme o valor base usado, assim, é possível obter outros valores de RQD teórico para valores base diferentes do convencional de 10 cm. Entretanto, com o incremento de t , o RQDT será cada vez menor para uma mesma frequência λ . A variação do RQDT com relação ao espaçamento médio entre descontinuidades é mostrado na Figura 3.2

Uma consequência importante da equação [3.2], também visível na Figura 3.2, consiste em que, para espaçamento médio igual ou superior a 0,3 m, o RQD convencional está sempre situado acima de 95%, havendo um aumento de no máximo 5% no RQD, como reflexo do aumento do espaçamento médio para valores superiores aos 30 cm.

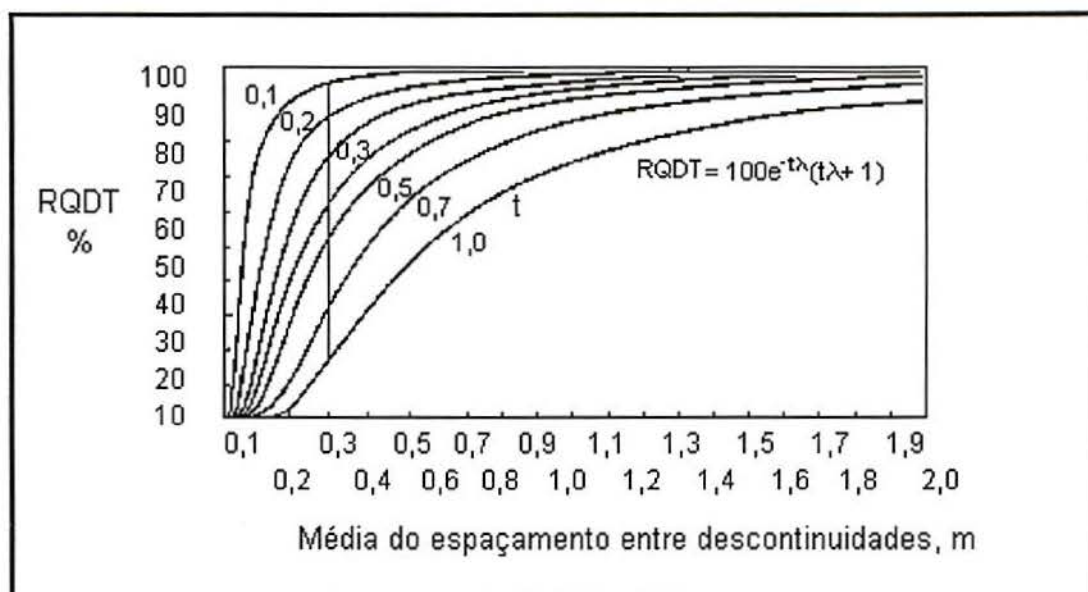


Figura 3.2 -Variação do RQDT, determinado com a equação [3.1], com relação à média do espaçamento entre descontinuidades, para uma faixa de valores t , compreendidos entre 0,1 e 1,0m. Fonte: Priest e Hudson (1976).

A partir de observações experimentais sobre rochas sedimentares, Priest e Hudson (1976), usando $t=0,1\text{m}$, concluíram que a equação [3.1] fornece uma “boa aproximação do RQD para frequências entre 2 e 38 m^{-1} . Estes autores determinaram também uma relação linear, aproximada para a equação [3.1], para $t=0,1\text{m}$, obtida na tangente à curva no ponto de inflexão $\lambda = 1/t = 10\text{m}^{-1}$. Esta equação seria:

$$\text{RQDT} \cong 110,4 - 3,68 \lambda \quad [3.3]$$

A equação [3.3] forneceria uma aproximação razoável para valores de λ situados entre 6 e 16m^{-1} . A Figura 3.3 mostra a relação entre RQDT, obtido a partir da equação [3.1] para $t=0,1\text{m}$, a frequência de descontinuidades λ e a aproximação linear obtida por Priest e Hudson (1976).

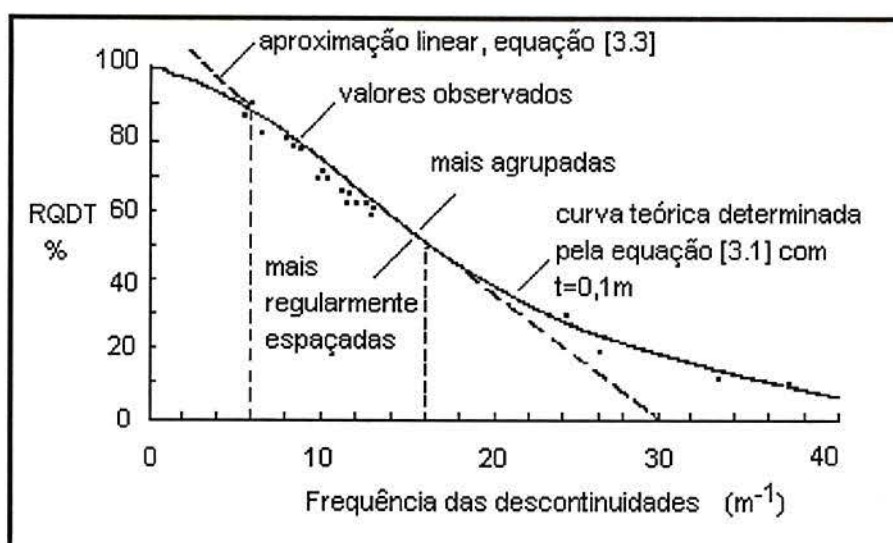


Figura 3.3 - Relação entre o RQD teórico, a frequência de descontinuidades e a relação linear representada pela equação [3.3]. Fonte: Priest (1993).

A ISRM (1978) propôs uma relação entre o RQD e o contador volumétrico de juntas J_v , esta relação, também linear, é a seguinte:

$$RQD = 115 - 3,3 J_v \quad \text{para } J_v \geq 4,5 \text{ m}^{-1} \quad [3.4]$$

$$RQD = 100 \quad \text{para } J_v < 4,5 \text{ m}^{-1}$$

onde o contador volumétrico de contas J_v , é definido como a soma do número de juntas por metro para cada família de juntas presente.

Segundo Priest (1993), a similaridade existente entre as equações apresentadas pela ISRM, obtidas empiricamente, e a equação [3.3], obtida analiticamente, reforçaria a validade da FDDP exponencial negativa como adequada para a descrição do espaçamento entre descontinuidades.

A acuracidade do RQDT obtido a partir da equação [3.2], pode ser estimada estatisticamente através do cálculo dos limites superior e inferior para a frequência das descontinuidades λ . O número de descontinuidades medidas determinaria então, o intervalo de confiança para um nível de significância desejado, obtendo-se os valores limites para λ . Através da substituição nas

respectivas equações, chegar-se-ia num RQDT máximo e um outro mínimo para o caso estudado.

Entretanto, a comparação entre valores de RQD obtidos da forma convencional a partir de testemunhos de sondagem e aqueles teóricos, obtidos com o uso da equação [3.2], evidencia algumas diferenças.

Priest e Hudson (1976), comparando dados provindos de siltitos, basaltos, e granitos; encontraram que a equação [3.2] prevê, para um dado valor de λ , RQDT com valores maiores do que o RQD convencional. Tentando encontrar uma explicação para este fato, apresentaram dois fatores como possíveis causas. O primeiro ressalta que as litologias estudadas tendem a apresentar descontinuidades mais regularmente espaçadas do que as previstas pela distribuição exponencial negativa. O segundo fator seria o processo de perfuração empregado, uma vez que podem ser produzidas quebras do material rochoso durante a sondagem.

Com relação à confiabilidade dos resultados obtidos com o uso da equação [3.2], Priest e Hudson (1976) recomendam que o comprimento da *scanline* usada na determinação do RQDT, corresponda a pelo menos cinquenta vezes a média do espaçamento, tendo em vista a obtenção de um nível razoável de precisão. Ao mesmo tempo, e como exemplificado no Capítulo 2, pelo menos duzentas medições seriam necessárias para obter um histograma com uma distribuição exponencial negativa claramente definida.

4. CLASSIFICAÇÃO DOS MACIÇOS ROCHOSOS FRATURADOS ATRAVÉS DO SISTEMA RMR

4.1 INTRODUÇÃO

As classificações de maciços rochosos surgiram na tentativa de facilitar a comunicação entre os diversos técnicos encarregados de desenvolver trabalhos relacionados com materiais rochosos.

Estes sistemas de classificação propõem a utilização de valores numéricos outorgados para aquelas características ou propriedades do maciço rochoso consideradas como determinantes do seu comportamento; através da combinação destes valores é possível, teoricamente, a obtenção de uma avaliação numérica que represente globalmente a qualidade do maciço.

Entretanto, a idéia de que esta avaliação global do maciço é possível, deve ser tratada com cuidado, bibliografia relacionada considera que esta classificação fornecerá resultados realistas unicamente para o maciço rochoso e para as circunstâncias nas quais foi originalmente desenvolvido (Brady e Brown, 1985).

Um considerável número de sistemas de classificação tem sido desenvolvido com várias finalidades. Destes sistemas, dois são os mais difundidos em nível internacional. O Índice da Qualidade de Túneis, ou Sistema Q, de Barton et al. (1974) do *Norwegian Geotechnical Institute*, e o sistema do *Rock Mass Rating*, (RMR) desenvolvido por Bieniawski (1974, 1989) do *South African Council for Scientific and Industrial Research*. Estes dois sistemas são dos mais empregados na atualidade, principalmente na engenharia civil e na mineração. Deve-se realçar, contudo, que existe unanimidade ao considerar que não existe classificação simplificada que consiga explicar o complexo comportamento das rochas que circundam uma escavação.

Com referência a esta questão, é útil apresentar as diferenças existentes entre os conceitos da *classificação* e *caracterização* de um maciço rochoso. Nieble e

Franciss (1976), referindo-se ao grau de detalhamento no levantamento inerente aos dois processos, reforçam que na classificação são coletadas apenas as informações definidas como critérios pelo sistema utilizado, enquanto que na caracterização são coletadas todas as informações necessárias para solucionar uma determinada questão específica.

Quando da primeira versão da sua classificação, Bieniawski (1974) recomenda algumas metas que devem ser atingidas através de uma classificação geomecânica:

- Dividir o maciço em grupos de comportamento similar.
- Proporcionar uma boa base para o entendimento das características de cada grupo.
- Fornecer dados quantitativos necessários à solução dos problemas da engenharia, facilitando o planejamento de estruturas construídas na rocha.
- Proporcionar uma linguagem de comunicação comum e efetiva.

Segundo Ibarra (1991), para que estes objetivos sejam alcançados é necessário que a classificação apresente as seguintes características:

- Use termos simples e compreensíveis.
- Inclua as propriedades mais significativas do maciço.
- Seja fundamentada em parâmetros que possam ser medidos no campo de maneira rápida e econômica.

Para cumprir estes objetivos, Bieniawski (1974) propôs originalmente que a sua classificação geomecânica compreendesse os seguintes parâmetros:

1. RQD, Designação Qualitativa da Rocha.
2. Grau de intemperização.
3. Resistência à compressão uniaxial da rocha não alterada.
4. Espaçamento entre as fraturas e as estratificações.
5. Direção e mergulho das descontinuidades.
6. Abertura das descontinuidades.
7. Continuidade das fraturas.
8. Infiltração das águas subterrâneas.

4.2 PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO

Após a aplicação prática e reavaliação deste sistema de classificação, seu autor realizou várias modificações, alterando para seis os parâmetros atualmente usados. Bieniawski (1989) apresenta, também, algumas das principais características de cada um dos parâmetros:

1- Resistência à compressão uniaxial da rocha

Para efeito de comparação, apresentamos, na Tabela 4.1, a classificação proposta por Deere e Miller (in Bieniawski, 1989) e inicialmente adotada por Bieniawski (1974).

Tabela 4.1- Classificação da resistência da rocha não alterada, de Deere e Miller.
Fonte: Hoek e Brown (1985).

Resistência à compressão uniaxial (Mpa)	Descrição	Exemplos característicos
1 -25	resistência muito baixa	Gipsita
25-50	resistência baixa	Carvão
50-100	resistência média	Arenito
100-200	resistência alta	Mármore, granito, gneiss
acima de 200	resistência muito alta	Quartzito, gabro, basalto

2- RQD, Designação Qualitativa da Rocha (seção 2.4.4)

3- Espaçamento das descontinuidades

O espaçamento entre descontinuidades é a distância média entre os planos de descontinuidade na direção perpendicular (fendas, falhas, planos de estratificação, planos de fraqueza, etc.). A direção é referida ao norte magnético e o mergulho em relação à horizontal.

4- Condição das descontinuidades

Este parâmetro leva em consideração a abertura das descontinuidades, sua rugosidade, o estado das paredes (sãs ou alteradas), a presença de preenchimento e sua persistência.

As rugosidades podem inibir o movimento cisalhante na superfície das descontinuidades, suas dimensões comumente, estão na ordem dos milímetros.

No caso de escavações subterrâneas, uma descontinuidade é considerada altamente persistente se sua extensão for maior que a dimensão da escavação.

A abertura é a separação presente entre as superfícies das descontinuidades, ela controla a extensão na qual as superfícies exercem influência devido ao intertravamento, como também no fluxo de água circulante através da descontinuidade. Na ausência de intertravamento, o preenchimento controla a resistência ao cisalhamento das descontinuidades. Quando a abertura diminui, as rugosidades das paredes tendem a conferir maior intertravamento, e tanto o preenchimento como a rocha contribuem para a resistência ao cisalhamento da descontinuidade.

A alteração das rochas constituintes das paredes das descontinuidades é um parâmetro que pode ser descrito seguindo-se recomendações da ISRM; estas descrições são as seguintes (ABGE, 1983):

1 - Não alterada/fresca. Classificação outorgada quando não são notados sinais visíveis de alteração, a rocha é fresca e os cristais brilhantes.

2 - Rocha levemente alterada. As descontinuidades são descoloridas e podem conter um preenchimento fino de material alterado. Para quantificar esta característica deve-se observar a descoloração, a qual deve estender-se dentro da rocha, a partir das superfícies das descontinuidades, até uma distância de 20% do espaçamento entre descontinuidades.

3 - Rocha moderadamente alterada. Descoloração leve estende-se a partir dos planos das descontinuidades, em extensão superior a 20% do espaçamento entre descontinuidades. Neste estágio, as descontinuidades podem conter preenchimento de material alterado.

4 - Rocha altamente alterada. Designação utilizada quando a descoloração estende-se através da rocha e o material é parcialmente friável. A textura original da rocha encontra-se majoritariamente preservada, mas houve separação dos grãos minerais.

5 - Rocha completamente alterada. A rocha está completamente descolorida e decomposta, com o material friável. A aparência externa corresponde a um solo.

O material de preenchimento das discontinuidades deve ser descrito nos seguintes aspectos: tipo, espessura, continuidade e consistência.

5- Condições da água subterrânea.

Tenta-se medir a influência do fluxo da água subterrânea sobre a estabilidade de escavações em termos do fluxo observado, em litros por minuto, para 10 m de escavação. Se a pressão da água é conhecida, pode ser relacionada com a tensão principal maior. As condições gerais também podem ser descritas como secas, úmidas, muito úmidas, e com presença de fluxo.

6- Orientação das discontinuidades.

Para Bieniawski (1989), este parâmetro deve refletir a importância dos vários sistemas de fraturamento existentes, considerando tanto o caso em que uma família seja considerada crítica como aquele em que existam diversas famílias equivalentes, quando então é mais conveniente uma avaliação das condições médias típicas.

O efeito da orientação das discontinuidades é avaliado em relação à orientação da abertura, esta avaliação deve ser realizada com base na Tabela 5, posteriormente apresentada.

4.3 PROCEDIMENTO

Para aplicar a classificação RMR, o maciço deve ser dividido em regiões estruturais nas quais certas feições conservam-se relativamente uniformes dentro

de cada região. Os contornos das regiões estruturais comumente coincidem com as feições geológicas maiores, tais como falhas e zonas de cisalhamento.

Após a delimitação das regiões estruturais, os parâmetros de entrada para cada uma delas são determinadas no campo, devendo ser usadas planilhas para tal efeito.

A forma em que estes parâmetros foram incorporados na classificação RMR para maciços fraturados encontra-se na Tabela 4.2.

Na Tabela 4.3 são apresentados os ajustes necessários devido à atitude das descontinuidades em relação à abertura, os termos descritivos usados com esta finalidade são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.2 - Parâmetros de classificação e pontuação correspondente utilizados no sistema RMR. Fonte: Bieniawski, 1989.

PARÂMETRO		ESCALA DE VALORES						
RESISTÊNCIA DA ROCHA INALTERADA (MPa)	Índice da carga pontual	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Para esta escala é preferido o ensaio de resistência à compressão uniaxial		
	Resistência à compressão uniaxial	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5-25	1-5	<1
	pontuação	15	12	7	4	2	1	0

RQD (%)	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25
pontuação	20	17	13	8	3

Tabela 4.2 - Continuação. Parâmetros de classificação e pontuação correspondente utilizados no sistema RMR. Fonte: Bieniawski, 1989.

PARÂMETRO		ESCALA DE VALORES				
ESPAÇAMENTO DAS DESCONTINUIDADES		> 2 m	0,6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm
	pontuação	20	15	10	8	5
CONDIÇÕES DAS DESCONTINUIDADES		muito rugosas, sem continui- dade, sem sepa- ração. Paredes de rocha não intempe- rizada.	pouco rugosas, sepa- ração <1 mm. Paredes de rocha leve- mente intempe- rizada.	pouco rugosas, sepa- ração <1 mm. Paredes de rocha altamente tempe- rizada.	com estrias (<i>slicken- sided</i>) ou preenchi- mento com espessura <5mm ou abertura 1-5mm. Contínuas	Preenchimento macio com espessura >5mm ou abertura >5 mm. Contínuas
	pontuação	30	25	20	10	0
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	Fluxo de infiltração por 10 m de compri- mento de túnel	Nenhum	< 10	10 - 25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min
	Relação: Pressão de água na junta / Tensão principal maior	ou	ou	ou	ou	ou
		0	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2-0,5	>0,5
	Situação geral	ou	ou	ou	ou	ou
		Comple- tamente seco	Leve- mente úmido	Úmido	Enchar- cado	Fluxo
pontuação		15	10	7	4	0

Tabela 4.3 - Ajuste devido à orientação das discontinuidades, descritas segundo a Tabela 4.6. Fonte: Bieniawski, 1989.

DIREÇÃO E MERGULHO DAS JUNTAS	MUITO FAVORÁVEL	FAVORÁVEL	REGULAR	DES-FAVORÁVEL	MUITO DES-FAVORÁVEL
TÚNEIS	0	-2	-5	-10	-12
FUNDAÇÕES	0	-2	-7	-15	-25
TALUDES	0	-5	-25	-50	-60

A Tabela 4.4 mostra a classificação e a descrição do maciço rochoso segundo as várias avaliações totais. Na Tabela 4.5 é vista uma interpretação destas avaliações em termos do tempo de auto-sustentação para as escavações subterrâneas e os parâmetros de resistência do maciço.

Tabela 4.4 - Classificação do maciço determinada a partir da avaliação total. Fonte: Bieniawski, 1989.

VALOR	10-81	80-61	60-41	40-21	< 20
CLASSIFICAÇÃO	I	II	III	IV	V
DESCRIÇÃO	ROCHA MUITO BOA	ROCHA BOA	ROCHA REGULAR	ROCHA RUIM	ROCHA MUITO RUIM

Tabela 4.5 - Significado geotécnico da classificação do maciço rochoso através dos sistema RMR. Fonte: Bieniawski, 1989.

CLASSIFICAÇÃO	I	II	III	IV	V
TEMPO MÉDIO DE AUTO-SUSTENTAÇÃO	20 ANOS PARA VÃO DE 5 m	1 ANO PARA VÃO DE 10 m	1 SEMANA PARA VÃO DE 5m	10 HORAS PARA VÃO DE 2,5 m	30 MINUTOS PARA VÃO DE 1 m
COESÃO DA ROCHA (kPa)	>400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
ÂNGULO DE ATRITO DA ROCHA)	> 45°	35 - 45°	25 - 35°	15 - 25°	< 15°

Tabela 4.6 - Efeito da direção e mergulho das descontinuidades em relação à escavação. Fonte: Bieniawski, 1989.

DIREÇÃO PERPENDICULAR AO EIXO DO TÚNEL		DIREÇÃO PARALELA AO EIXO DO TÚNEL	MERGULHO DE 0-20° INDEPENDENTE DA ORIENTAÇÃO
PENETRAÇÃO NO SENTIDO DO MERGULHO	PENETRAÇÃO CONTRA O MERGULHO		DESFAVORÁVEL
MERGULHO 45 - 90° MUITO FAVORÁVEL 20 - 45° FAVORÁVEL	MERGULHO 45 - 90° REGULAR 20 - 45° DESFAVORÁVEL	MERGULHO 45 - 90° MUITO DESFAVORÁVEL 20 - 45° REGULAR	DESFAVORÁVEL

4.4 RECOMENDAÇÕES

Várias recomendações devem ser consideradas para a aplicação de uma classificação geomecânica. Entre estas Bieniawski (1989) faz referência à necessidade de considerar as características tanto do material intacto quanto das descontinuidades, especialmente se estas últimas estão largamente espaçadas ou se as rochas intermediárias estão enfraquecidas ou alteradas.

Nas situações em que são encontradas condições mistas de qualidade das rochas, tais como "qualidade boa" e "qualidade ruim", Bieniawski (1989), considera essencial identificar a "condição mais crítica" para a avaliação do trecho, de forma tal que as feições geológicas mais significantes para a estabilidade tenham maior influência.

Com relação à profundidade de desenvolvimento das atividades, considera-se que os trabalhos em condições mais superficiais são controlados principalmente pelas feições estruturais, ao contrário das altas profundidades, onde o comportamento do maciço é controlado pelas tensões, determinando, para este caso, que o conhecimento dos campos de tensão possua maior significância que o conhecimento dos parâmetros geológicos.

Finalmente, Bieniawski (1989) ressalta que cada parâmetro envolvido na classificação RMR possui significado diferente e unicamente se considerados em conjunto podem conduzir à descrição satisfatória do maciço.

5. ASPECTOS GEOLÓGICOS E ESTRUTURAIS NA MINA RIO DOS BUGRES

5.1 GEOLOGIA REGIONAL

No Estado de Santa Catarina é possível identificar três grande setores geotectônicos: a oeste a Bacia do Paraná; ao norte o Complexo Granulítico de Santa Catarina e ao sul o Cinturão Orogênico Dom Feliciano.

A área da mina Rio dos Bugres encontra-se inserida dentro do Cinturão Dom Feliciano. Este cinturão, descrito inicialmente por Fragozo Cesar (1980), tem orientação principal NE-SW e ocorrência que vai desde o Uruguai até o estado de Santa Catarina, esta disposição pode ser vista na Figura 5.1. O Cinturão é definido como uma entidade geotectônica desenvolvida no Proterozóico superior, e suas características principais são evidenciadas pelo metamorfismo, deformação, geração de rochas e retrabalhamento de terrenos mais antigos durante o Ciclo Orogênico Brasileiro, Fragozo Cesar (1980). Outras informações geológicas relacionadas com a região sudeste catarinense são mostrada na Figura 5.2.

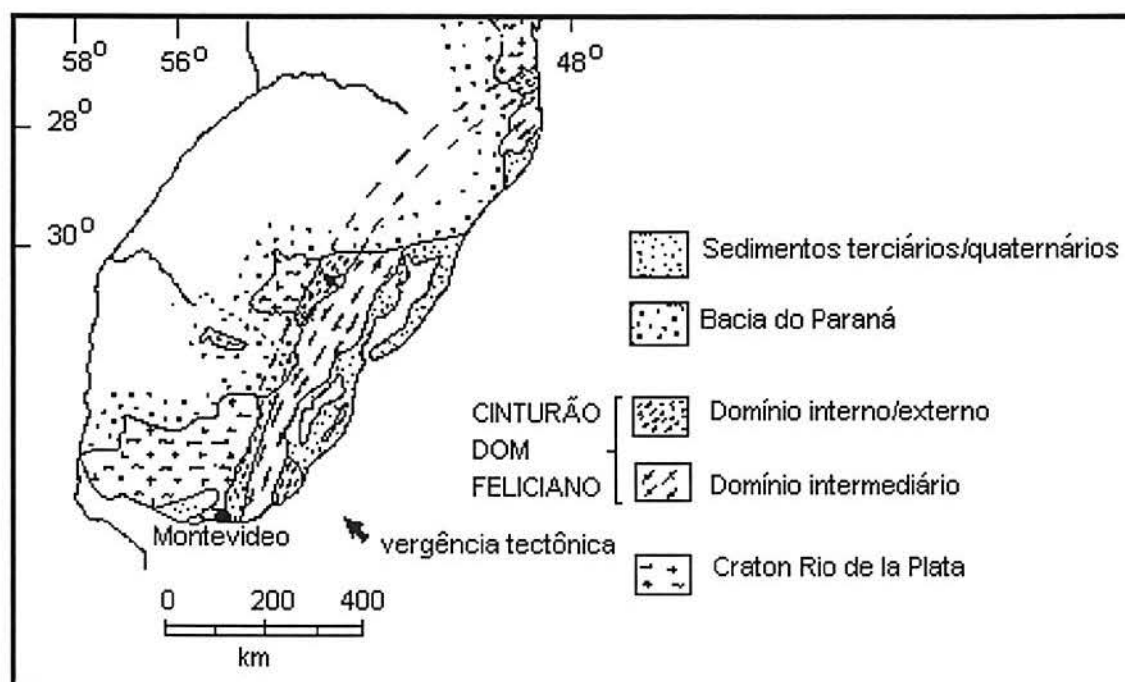


Figura 5.1 - Cinturão Orogênico Dom Feliciano. Fonte: Bastos Neto, 1990.

Conforme Texto Explicativo do Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina, escala 1:500.000 (DNPM, 1987), neste Estado o Cinturão Orogênico Dom Feliciano é formado por três zonas distintas, denominadas de Domínio Interno, Domínio Intermediário e Domínio Externo.

O Domínio Interno está constituído fundamentalmente por migmatitos e granitóides deformados, cortados pelas suítes de granitóides de São Pedro de Alcântara e Pedras Grandes. O Domínio Intermediário é formado pelos sedimentos do Grupo Brusque e granitóides das Suítes Valsungana e Guabiruba. O Domínio Externo é caracterizado pela antefossa molássica do Grupo Itajaí, preenchida por sedimentos turbidíticos.

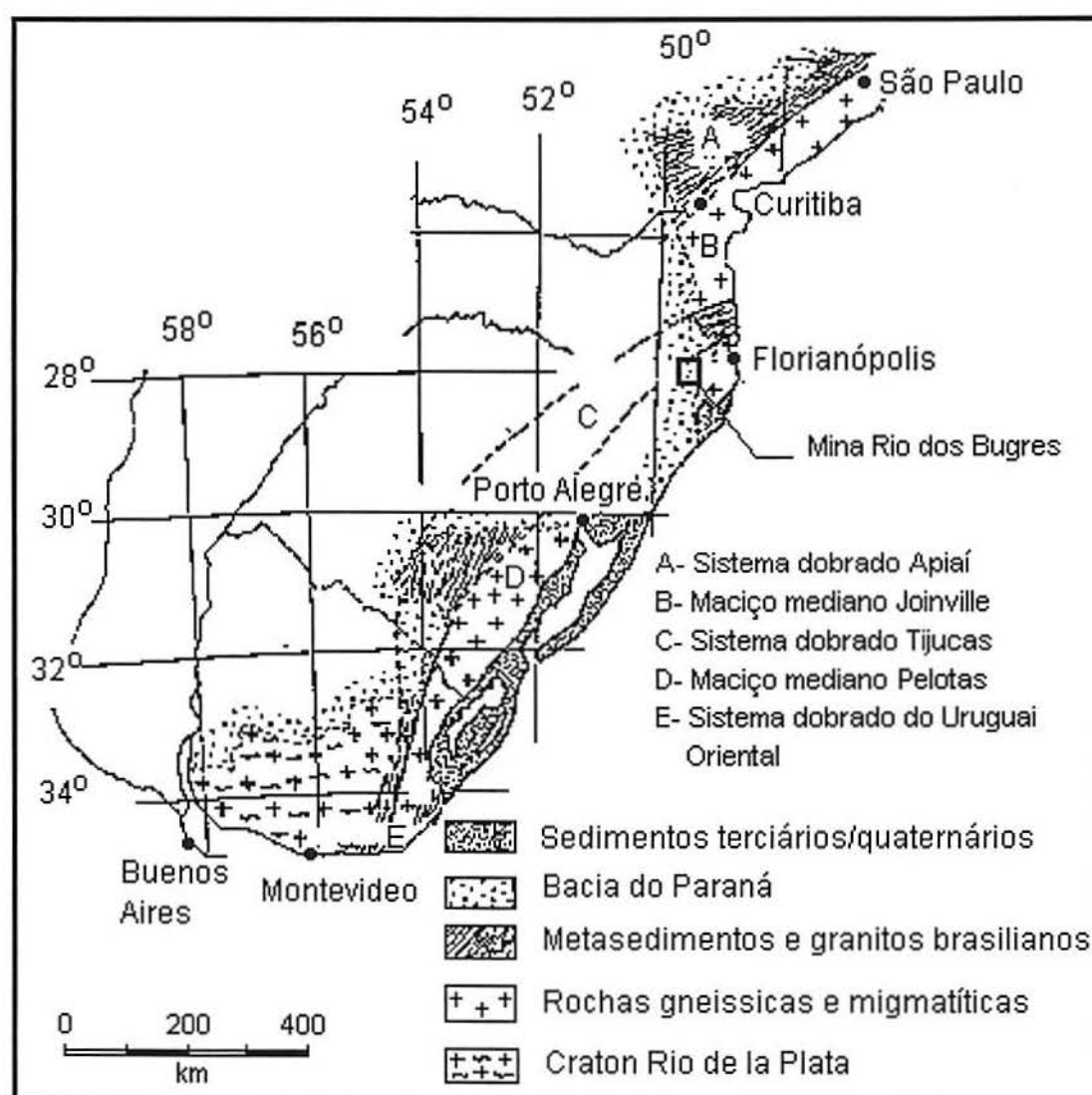


Figura 5.2 - Geologia da região compreendida entre Montevideu e Florianópolis com a localização da Mina Rio dos Bugres. Fonte: Bastos Neto, 1990.

Segundo Ferreira (1982), as rochas aflorantes presentes na região da Mina Rio dos Bugres pertencem ao Cinturão Dom Feliciano, especificamente ao denominado Domínio Interno, elas seriam representadas por granitóides de natureza polidiapírica, com corpos sin, tardi e pós-tectônicos, apresentando fenômenos de remobilização e metassomatismo.

Para Ferreira (1982), os corpos granitóides apresentam natureza calco-alcalina, incluindo quartzo diorito, tonalito, granodiorito, monzogranito e quartzo monzonito. Estes granitóides mostram a ação de corpos intrusivos tais como "*plugs*" de micro-sienogranitos, diques e sills de feldspato alcalino riolito.

Na parte superior da coluna estratigráfica aparecem os sedimentos da Formação Itararé capeando as litologias graníticas. Ferreira (1982) conclui que estes sedimentos são constituídos principalmente por arenitos e siltitos, com ocorrência mais restrita de conglomerados e argilitos. Atravessando os granitóides e sedimentos ocorrem diques de diabásio da Formação Serra Geral.

5.2 GEOLOGIA LOCAL

A Mina Rio dos Bugres encontra-se inserida dentro de uma área de intenso cisalhamento, apresentando por este motivo, litologias típicas de zonas de fraturamento, tais como milonitos, blastomilonitos, protomilonitos e cataclasitos, todos em estruturas orientadas predominantemente na direção NE-SW.

As litologias predominantes nesta área são os granitóides, os quais constituem o grupo litológico mais importante, do ponto de vista geomecânico, devido ao seu papel de rochas encaixantes dos filões fluoríticos. Os granitóides, de idade brasileira, são sin, tardi e pós-tectônicos; pertencentes à raiz do arco magmático e correlacionáveis ao Domínio Interno do Cinturão Dom Feliciano (Fragoso Cesar, 1980).

Ferreira (1982) conclui que a natureza dos granitóides é tipicamente calco-alcalina, estando presentes na área quartzodioritos, tonalitos, granodioritos,

quartzomonzonitos e monzogranitos. Ao norte da área da Mina, afloram microgranitos e diques ou sills de riolito de natureza sub-alcalina a alcalina.

Capeando as rochas do embasamento ocorrem os sedimentitos da Bacia do Paraná, representados por intercalações de tilitos, arenitos, varvitos, folhelhos, siltitos e argilitos pertencentes à Formação Itararé, eventualmente estes sedimentitos aparecem sendo cortados por diques e sills de basalto, pertencentes à Formação Serra Geral.

5.3 LITOLOGIAS PRESENTES

Ferreira (1982) apresenta as litologias existentes na área da Mina Rio dos Bugres, as características principais são apresentadas a seguir.

5.3.1 Granitóides sin-tectônicos

• Quartzo dioritos, tonalitos e monzogranitos

Estes grupos estão fortemente associados, apresentando contatos comumente gradacionais entre eles. A ocorrência destas litologias é predominante na região da Mina Rio dos Bugres, constituindo-se nas principais rochas encaixantes dos filões fluoríticos.

Os quartzo dioritos apresentam granulação fina a média, coloração cinza esverdeada e via de regra estão fortemente cataclasados. A mineralogia essencial é constituída por feldspato plagioclásio e quartzo, e em menor grau feldspato microclínio e biotita. Como produtos de alteração mais comuns estão presentes epídotos, clorita, carbonatos, sericita, moscovita e argilominerais. Como minerais acessórios ocorrem zircão, apatita, minerais opacos e a fluorita, a qual geralmente ocorre preenchendo fissuras.

Os tonalitos apresentam granulação média e coloração cinza esverdeada. A mineralogia essencial é semelhante ao quartzo diorito, mudando apenas as proporções dos minerais, enquanto que os produtos de alteração e os minerais acessórios são os mesmos.

Os monzogranitos grosseiros estão intensamente cataclasados e apresentam geralmente contatos transicionais com os tonalitos e quartzo dioritos. A coloração é avermelhada ou marrom e a granulação grosseira. A mineralogia essencial é constituída por plagioclásios, microclínio, quartzo e com menor frequência a muscovita. Os produtos de alteração mais comuns são a clorita e os carbonatos. Como acessórios aparecem opacos, apatita e fluorita.

Seus contatos com os outros granitóides são essencialmente tectônicos.

- **Quartzo monzonitos e granodioritos**

Estas litologias encontram-se associadas no campo, motivo pelo qual são descritas de forma conjunta. São granitóides grosseiros, apresentando porfiroblastos de feldspato alcalino, estão intensamente cataclasados, podendo, em alguns locais, ser classificados como blastomilonitos. Os quartzo monzonitos e granodioritos estão localizados principalmente ao sul e ao norte da mina.

A coloração dos quartzo monzonitos é cinza rosado ou esverdeada, mineralogia essencial constituída por plagioclásio, feldspato alcalino, quartzo, biotita e hornblenda; são mais raros epídoto, clorita, opacos e fluorita.

Os granodioritos estão localizados principalmente ao norte da mina, possuem colorações marrom ou esverdeada e sua mineralogia essencial é constituída por plagioclásio, quartzo e feldspato alcalino. Os produtos de alteração mais comuns são clorita, carbonato, sericita e epídoto. Os acessórios são opacos, apatita e fluorita.

Seus contatos com os outros granitóides são tectônicos.

Indicativas referentes a estes granitóides, tais como sua intensa deformação e os indícios de metamorfismo, indicariam que eles devem corresponder à fase orogênica principal do Ciclo Brasileiro.

5.3.2 Granitóides tardi-tectônicos

Estes granitóides apresentam baixa deformação ou cataclase pouco pronunciada, na área estão representados por monzogranitos médios, de colorações cinzas ou rosadas e textura equigranular. A mineralogia essencial é composta por quartzo, plagioclásio e microclínio. Opacos e fluorita são acessórios. Clorita, sericita e argilo-minerais são os minerais de alteração mais comuns.

Os monzogranitos médios ocorrem principalmente ao sul da área da mina, sendo sua presença mais rara na Mina Rio dos Bugres. O contato com os outros granitos, na maior parte dos casos, é tectônico.

5.3.3 Granitóides pós-tectônicos

Estes granitóides estão representados na área por microsienogranitos de natureza alcalina a subalcalina, com ocorrência restrita na região da mina. Ao norte da mina ocorrem granitos finos avermelhados, os quais podem ser considerados como associados a este grupo.

O microsienogranito é equigranular e homogêneo, de coloração vermelha ou marrom, sua mineralogia essencial é formada por microclínio, quartzo e plagioclásio. Carbonatos, moscovita e epidoto são restritos e a fluorita é rara.

Os corpos apresentam tamanhos pequenos e suas formas não foram definidas.

5.3.4 Sedimentos da formação itararé

Recobrando o embasamento granitóide encontram-se os sedimentitos carboníferos da Formação Itararé, os quais apresentam grande ocorrência na área da mina.

Os sedimentitos presentes são fundamentalmente arenitos e siltitos. Os conglomerados afloram com menor frequência apresentando-se, geralmente, na

base da Formação Itararé, constituídos por blocos de rochas graníticas de vários tamanhos e inseridos numa matriz geralmente arenosa.

Os arenitos apresentam coloração cinza ou amarelada, grão fino e quando próximos às falhas estão fraturados e silicificados. Próximos aos falhamentos os siltitos também apresentam-se silicificados.

5.4. PROCESSOS DE ALTERAÇÃO PRESENTES NA ÁREA

Ferreira (1982) indica que vários processos de alteração estão presentes na área da mina, estes processos são descritos a seguir.

5.4.1 Feldspatização, granodioritização e microclinização

A rocha piroxênio-quartzo-diorítica e tonalítica é intensamente feldspatizada, caracterizada pela entrada de veios diques e plugs de composição quartzo-feldspática, representado por feldspato-alcálico-riolitos e microsienogranitos. Também é registrado um aumento quantitativo de quartzo e feldspato microclínio o qual ocorre normalmente na forma de porfiroblastos.

5.4.2 Metamorfismo cataclástico

Nas bordas dos plutões ou em áreas próximas das zonas de falhamentos transcorrentes compressivos, a textura equigranular original é sobreposta por uma textura cataclástica ou milonítica com recristalização parcial ou total com neoformação de clorita e epidoto. Como resultante desses processos metamórficos ocorrem cataclasitos, milonitos, blastomilonitos e granitos gneisses.

5.4.3 Metamorfismo hidrotermal

Para Ferreira (1982) o metamorfismo hidrotermal está representado por meta-quartzo-dioritos. São verificadas localmente temperaturas entre 350°C e 500°C e baixa pressão, onde a textura original da rocha é totalmente preservada com neoformação de actinolita-zoizita-albita-clorita (paragênese metamórfica). Estas transformações estão localizadas dentro dos corpos graníticos, razão pela qual elas

poderiam ser classificadas, segundo Ferreira (1982), como provenientes de metamorfismo hidrotermal de grau baixo, situado nas fácies xistos verdes.

5.4.4 Hidrotermalismo

Para Ferreira, (1982) estando a Mina Rio dos Bugres localizada dentro de uma área de cisalhamento, ocorreriam no local processos de alteração hidrotermal com a presença de minerais típicos de baixas temperaturas, estes minerais são os seguintes: sericita, fluorita, SiO_2 , mica moscovita, epídoto, esfeno, clorita, óxidos de ferro e manganês, sulfetos, carbonatos e argilo-minerais.

Sericita-clorita-argilo-minerais (caulinita)-albita e quartzo resultariam da alteração hidrotermal. A fluorita é considerada um mineral acessório e aparece como inclusões no quartzo e no feldspato microclínio, as vezes apresenta-se remobilizado preenchendo microfraturas ou substituindo o plagioclásio da rocha hidrotermalizada.

5.5 TECTÔNICA REGIONAL

A Região Sudeste Catarinense, onde está situada a Mina Rio dos Bugres, apresenta um complexo sistema de tectonismo rúptil, o qual reflete-se na área através da atuação de esforços compressivos e distensivos. Tais esforços produziram lineamentos tais como juntas, fraturas e falhas, dispostos espacialmente em várias direções .

Segundo Morgental (in Ferreira, 1982) estes lineamentos estariam agrupadas em três diferentes direções principais: N15-35E, N45-55E e N25-45W.

Horbach e Marimon (in Ferreira, 1982) consideram que existem dois sistemas predominantes de fraturamentos, o primeiro, mais antigo com direção N50E e o segundo de direção N30E, com direções conjugadas de N30W e N50W. Para estes autores, os falhamentos N50E apresentam grandes lineamentos retilíneos, sendo marcados litologicamente no campo por milonitos e blastomilonitos, os quais encaixam, eventualmente, veios de quartzo e diques de rochas vulcânicas ácidas.

Trainini (in Ferreira, 1982), considera que, nos mosaicos crustais determinados por estas falhas, surgiram esforços secundários em resposta aos esforços compressionais, dando assim origem a um sistema de fraturas de cisalha conjugadas, de direções N75-85E e fraturas de tensão com direção aproximada de N75W. A continuidade dos esforços compressionais teria provocado a rotação no sentido horário, dando lugar a dois grupos de fraturas, uma teria sido de tensão com direção preferencial N-S e a outra de cisalha, levógira, com direção N15-25E.

Ainda segundo Morgental (in Ferreira, 1982), as falhas contendo mineralização de fluorita estariam preferencialmente alinhadas nas direções N20-30E e N50-70E.

5.6 TECTÔNICA LOCAL

Ferreira (1982) considera como muito intenso o tectonismo rúptil atuante sobre as rochas presentes na área da Mina Rio dos Bugres. Este tectonismo provocou falhas nas direções preferenciais N10-34E, N50-50W, N50-70E e N15-35W.

Ainda segundo este autor, a última reativação nas falhas portadoras de mineralização de fluorita, considerada como responsável pelo brechamento da caixa filoniana, teve um comportamento transcorrente. Desta forma o bloco situado entre os filões 1 e 2 permaneceria aparentemente estável, o bloco oeste movimentara-se para SW e o bloco este deslocaria para NE, determinando uma rotação levógira. Estas conclusões foram realizadas a partir das observações sobre os *slickensides*.

As duas falhas que encaixam os filões 1 e 2 apresentam mergulhos que variam desde sub-vertical até 45 NW, com valores mais comuns entre 50 e 80 NW.

A falha que se apresenta contendo o Filão 1 possui direção N 10-15E, com inflexão de N35-40E na porção sul.

A falha que contém o Filão 2 possui direção N05E com inflexão na porção norte de N25E nos níveis superiores da mina até N45 E no nível mais profundo.

Considerando que esse comportamento seja mantido, as extremidades das duas falhas se uniriam em profundidade.

5.7 CARACTERIZAÇÃO DOS FILÕES MINERALIZADOS

Na área da Mina Rio dos Bugres a fluorita ocorre em três filões distintos, sendo denominados de Filão 1, Filão 2 e Filão 3. O Filão 1 e o 3 encontram-se na mesma falha, enquanto que o Filão 2 numa outra falha aproximadamente paralela à anterior. As principais características destes filões são apresentadas a seguir, tendo como fonte bibliográfica Ferreira (1982).

Os filões mineralizados encontram-se nas direções predominantes N10-20E, com inflexões para N-S e N40E. Os mergulhos são bastante diversificados para o mesmo filão, com valores entre 45 NW até sub-verticais. Existe predominância dos valores de 60-80NW.

As espessuras dos filões são muito irregulares, configurando estreitamentos e alargamentos dos corpos, tanto na direção horizontal como na vertical, seus valores estão situados entre 0,40 e 11,0 m.

A fluorita ocorre nos três filões em brechas finas ou grosseiras, associadas a calcedônia, quartzo, argilas e fragmentos de rocha encaixante. Ela ocorre em fraturas finas, as quais cortam tanto as brechas como as rochas encaixantes, em cavidades de formas e tamanhos variados que aparecem aleatoriamente dentro das brechas na forma de cristais cúbicos de vários centímetros de aresta.

As colorações da fluorita são verde, roxa, azul, lilás, amarela, apresentando-se também incolor, com distribuição heterogênea em todos os filões.

Além dos três filões principais, ocorre uma série de filões menores, dispostos em forma paralela ou interceptando os filões maiores, com disposição e comportamento ainda sendo objeto de estudo.

Os filões estão encaixados pelos sedimentitos da Formação Itararé nos níveis mais superiores da mina e os granitóides nos inferiores. Algumas raras vezes

a encaixante é o micro-sienogranito. Próximo ao filão são observados efeitos de cataclase e hidrotermalismo com silicificação e alteração das rochas encaixantes.

A finalização da mineralização nos níveis inferiores da mina é marcado pela presença de largas faixas de cataclasitos alterados e argilosos, ou por brechas onde predomina a calcedônia.

5.7.1 Filão 1

É considerado como o principal filão da jazida. Possui direção que varia de N-S a N15E. Seu comprimento total está próximo dos 470 m, com profundidade de 200 m e espessura média de 3 m, com valores variando de 0,40 a 11,0 m. Este filão tem forma lenticular irregular. O teor médio de CaF_2 é de 45,13%. O comprimento máximo da lente ocorre no Nível 102 da Mina, enquanto que as espessuras maiores são encontradas no Nível 152.

Este filão encontra-se encaixado em um falhamento transcorrente cisalhante, profundo, existente antes da mineralização.

A presença de estrias e camadas horizontalizadas, sem efeitos de alta pressão, presentes nos sedimentos encaixantes do Nível 18, comprovariam a natureza transcorrente rúptil e superficial da deformação.

Nos níveis inferiores ao 18, o filão apresenta fragmentos de brecha, fluorita, cataclasito, granodiorito e milonito, cimentados por SiO_2 e CaF_2 . No Nível 18 estão ausentes as características dúcteis antigas representadas pelo milonito e o cataclasito.

No Filão 1 a fluorita ocorre em brechas, junto com calcedônia, fragmentos de rocha encaixante de vários tamanhos, argila e quartzo.

Este filão apresenta alguns alargamentos concentrados geralmente nos pontos onde o mergulho da falha muda bruscamente, este comportamento é verificado tanto na direção vertical como na horizontal.

Quando eventualmente ocorrem interrupções dos filões, a zona de falha é preenchida por rochas cataclasadas ou então por cataclasitos bastante alterados.

As rochas encaixantes da mineralização no Nível 18 são fundamentalmente arenitos, os quais se encontram silicificados nas proximidades da falha. Por outro lado, o Nível 223 foi considerado estéril, com a fluorita ocorrendo em pequena quantidade nas brechas ou nos cataclasitos alterados, sendo que nas brechas existe predominância de calcedônia.

Nos níveis 50, 102, 152 e 223, as rochas encaixantes são os vários tipos de granitóides, os quais geralmente se apresentam cataclasados e alterados quando situados próximos ao filão.

As informações relacionadas com os mergulhos do filão, assim como outras características, podem ser melhor observadas nas plantas geológicas confeccionadas pela Empresa mineiradora.

5.7.2 Filão 2

O Filão 2 está situado para oeste do Filão 1, contido numa falha aproximadamente paralela e distante em média de 85 m deste. O filão 2 possui direção N24-40E.

O filão tem forma de lente irregular com comprimento total próximo aos 200 m e profundidade de cerca de 250 m; sua espessura média é de 3,15 m. O Filão 2 apresenta larguras maiores na sua faixa central, desde o Nível 18 até o 152.

Seu teor médio de CaF_2 é de 38,58%, com valores variando amplamente de um lugar para outro.

Este corpo mineralizado encontra-se encaixado num falhamento transcorrente compressivo e dúctil.

O filão caracteriza-se por uma brecha com fragmentos de brecha, fluorita, cataclasito-milonito e rocha encaixante cimentada por fluorita sílica, argila silicificada e Fe_2O_3 . A fluorita encontra-se na forma de cimento e fragmento.

5.7.3 Filão 3

O Filão 3 está localizado no prolongamento, na direção sul, da falha que contém o Filão 1, a uma distância de 300 m aproximadamente. Apresenta direção N10-25E com mergulho predominante de 80NW.

A lente fluorítica do Filão 3 possui comprimento próximo aos 250 m, profundidade conhecida de 100 m, espessura média de 2,78 m. O teor médio é de 40,95% de CaF_2 .

Este filão não apresenta afloramentos na superfície, dificultando seu estudo, motivo pelo qual foram realizadas campanhas de prospeção a partir dos acessos internos da mina. A fluorita ocorre em brechas finas ou médias, associada com calcedônia, quartzo, fragmentos de rocha e argila.

As rochas encaixantes são constituídas principalmente pelos sedimentitos da Formação Itararé, existentes em maior espessura nesta área da mina. Na porção inferior do filão as rochas encaixantes são fundamentalmente o quartzo diorito e o monzogranito.

5.7.4 Filões 4 e 5

Estes filões foram detectados em duas falhas consideradas como favoráveis para a potencial existência de mineralização, porém as informações provindas dos afloramentos são escassas devido à espessa cobertura de sedimentos.

Desta forma o provável Filão 4 está situado no extremo SW da área em falha de direção N27E. O Filão 5 está localizado na região NE da área, sobre falha de direção N23E, determinando, portanto, direção aproximadamente paralela aos filões 1,2 e 3.

6. METODOLOGIA DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL NA MINA

6.1 INTRODUÇÃO

Com a finalidade de atingir os objetivos propostos no Capítulo 1, as atividades de campo foram divididas em dois grupos principais:

1- Levantamento estrutural nas galerias: Este mapeamento compreendeu o levantamento das características das descontinuidades através do método da *scanline*, o levantamento objetivou determinar as condições estruturais dos filões mineralizados, das rochas encaixantes e do maciço rochoso situado entre os dois filões fluoríticos principais, Filão 1 e Filão 2. Os levantamentos foram efetuados sobre paredes das galerias da mina em todos os cinco níveis existentes.

2- Cálculo do RQD dos testemunhos de sondagem: Compreendeu a determinação do RQD (*Rock Quality Designation*) dos testemunhos de sondagem extraído da área da mina pela empresa de mineração. O RQD foi utilizado, também, no sistema de classificação RMR de maciços rochosos, como será apresentado posteriormente.

6.2 LEVANTAMENTO ESTRUTURAL NAS GALERIAS

Vários fatores condicionaram a necessidade de reduzir a área do levantamento para um setor estabelecido como prioritário, dentro das circunstâncias operacionais tanto do mapeamento como do desenvolvimento da mineração. Desta forma, foi delimitada uma área piloto onde os levantamentos seriam concentrados; esta área foi definida devido aos seguintes fatores:

- a existência, neste setor, de galerias nas direções longitudinal e transversal aos filões principais, proporcionando uma maior abrangência espacial do terreno, permitindo, portanto, uma melhor caracterização do maciço.
- o método de lavra estabelecido pela empresa, o qual considera esta área da mina como uma das primeiras em entrar em produção de minério;

- a limitação de pessoal e infra-estrutura, necessários para levantamentos desta natureza, impossibilitou a realização deste tipo de mapeamento em toda a área da mina;
- a concentração, neste setor da mina, da infra-estrutura auxiliar necessária para os levantamentos. Foram considerados fatores tais como possibilidade de acesso, segurança, e facilidade de comunicação;
- os objetivos do levantamento, considerados fundamentalmente como acadêmicos.

A área definida para os levantamentos está compreendida por um polígono irregular, delimitado ao Norte pelo Acesso, à Leste pela Cabeceira S1, correspondente ao Filão 1 e à Oeste pelo Filão 2, correspondente à Cabeceira S2. Esta área é mostrada esquematicamente na Figura 6.1.

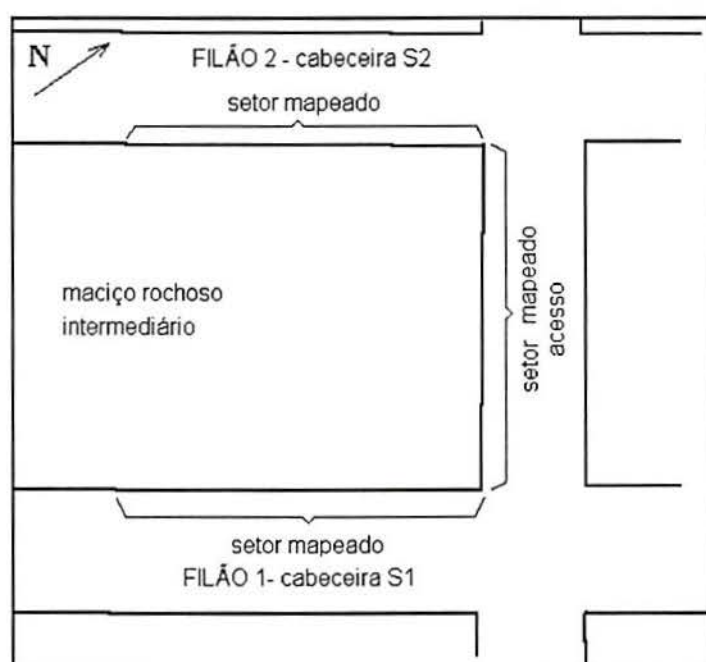


Figura 6.1- Representação esquemática da área delimitada para o levantamento estrutural realizado com o método da *scanline*. Figura sem escala.

Na pesquisa pelo método da *scanline*, como foi explicado no Capítulo 3, uma escala métrica é afixada nas paredes do maciço objeto do estudo. No presente caso, uma única parede foi estudada em cada galeria, no caso das Cabeceiras foi mapeada a parede interna do maciço, isto é, aquele existente entre os filões; no caso do Acesso foi mapeada a parede Sul; esta convenção foi mantida em todos os níveis.

No levantamento estrutural foram registradas as seguintes características para cada uma das descontinuidades encontradas ao longo da escala métrica:

a- Distância na qual a escala métrica intercepta a descontinuidade. A precisão na medição corresponde a um (01) centímetro. Houve o cuidado de tentar diferenciar as descontinuidades naturais daquelas produzidas possivelmente durante algum estágio do processo de escavação.

b-Trecho: extensão do maciço dentro do qual foi possível identificar visualmente um número de descontinuidades apresentando direção e mergulho aproximadamente iguais. Deve-se ressaltar, entretanto, que a determinação de famílias de descontinuidades não depende destas observações, uma vez que esta determinação será realizada através dos estereogramas e diagramas de rosetas efetuadas posteriormente através de software específico.

c- Espaçamento: distância compreendida entre uma descontinuidade registrada individualmente e aquela imediatamente subsequente. Nos casos em que foi identificado um trecho do maciço com as características descritas no item b, foi registrado o espaçamento correspondente à média do conjunto de descontinuidades em estudo.

d- Direção do mergulho (azimute do mergulho) e o mergulho, medidos com bússola tipo Clark.

e- Observações relacionadas com as condições de estabilidade e fraturamento, com a(s) descontinuidade(s) registrada(s) ou uma outra informação de interesse, por exemplo, a designação litológica, ou a presença de feições estruturais locais. Estas características servem como auxiliares para a descrição do maciço e fundamentam-se principalmente na aparência visual do trecho ou da descontinuidade estudada.

Na tabela 6.1 é mostrado o modelo da planilha usada para o registro dos dados levantados nas galerias com o método da *scanline*.

Tabela 6.1- Modelo de Planilha usado para o registro das características do maciço rochoso nos levantamentos realizados através do método da *scanline*.

NÍVEL: 223 LOCAL : ACESSO 223 ORIENTAÇÃO DA FACE : 110/90 ORIENTAÇÃO DA SCANLINE : 110/90 OBSERVAÇÕES : Início: ponto topográfico 4. LITOLOGIA PRINCIPAL: granitóides SENTIDO : S1 p/ S2 ALTURA SCANLINE : 1,2 m						
DISTÂNCIA (m)	TRECHO	No. DESCS.	ESPAÇAMENTO	DIREÇÃO DO MERGULHO	MERGULHO	OBSERVAÇÕES
0,00	1,00	0	-	-	-	-
1,00	3,00	20	0,10	303	84	zona fraturada
3,00	3,50	2	0,50*	170	50	
3,50	4,00	3	0,25	320	75	
4,00	5,00	20	0,05	290	89	zona fraturada
4,50		1	0,25	310	70	
4,75		1	0,25	350	75	
5,00	etc...

* é considerado o trecho intacto entre as descontinuidades: $0,50m = (3,5-3)/(2-1)$.

6.3 CÁLCULO DO RQD DOS TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

A Mineração Santa Catarina, desenvolveu uma campanha de sondagens na região da Mina Rio dos Bugres, que teve como sequência a abertura de sondagens exploratórias em subsolo, realizadas a partir dos Níveis 60 e 102 da mina. Com a disponibilidade dos testemunhos provenientes destas sondagens, e para o cálculo do RQD foram selecionados aqueles furos de sondagem situados dentro e nas proximidades da área delimitada para o estudo. Estes furos encontram-se dispostos de forma inclinada, perfazendo um total de vinte (20); suas coordenadas UTM são apresentadas na Tabela 6.2

As sondagens medidas apresentam dois diâmetros diferentes, uma vez que foram iniciados com diâmetro de 54,7 mm (NX) e reduzidos durante a perfuração para diâmetro de 40 mm. Para o cálculo do RQD mediu-se aqueles trechos dos testemunhos de sondagem com comprimento superior ou igual a 0,10m, sendo, a seguir, calculada a razão com relação ao comprimento total perfurado. A Figura 6.2 mostra o procedimento de medição efetuado, enquanto que na Figura 6.3 é mostrada a disposição dos furos de sonda dentro da área da mina.

Tabela 6.2 - Coordenadas UTM dos furos de sondagem. Fonte: Santos (1982).

SONDAGEM	COORDENADAS UTM (m)	
	LESTE	NORTE
RB-06 (E)	678.438,75	6.892.485,85
RB-07 (E)	678.426,7	6.892.443,45
RB-08 (E)	678.402,7	6.892.408,00
RB-09	678.402,7	6.892.408,00
RB-10 (E)	678.393,7	6.892.368,85
RB-11	678.488,5	6.892.429,90
RB-12	678.393,7	6.892.368,85
RB-13	678.393,7	6.892.368,85
RB-14 (E)	678.488,5	6.892.429,90
RB-15 (E)	678.473,0	6.892.356,10
RB-17	678.394,73	6.892.302,03
RB-18	678.394,73	6.892.302,03
RB-19 (E)	678.443,2	6.892.263,10
RB-21 (E)	678.382,9	6.892.246,90
RB-22	678.382,9	6.892.246,90
RB-24 (E)	678.476,62	6.892.538,95
RB-26	678.408,15	6.892.336,23
RB-27	678.412,91	6.892.391,18
RB-28	678.438,68	6.892.247,83
RB-29	678.399,83	6.892.172,26

(E) : Testemunho no qual foi realizada amostragem para ensaio de resistência à compressão uniaxial.



Figura 6.2 - Determinação do RQD nos testemunhos de sondagem.

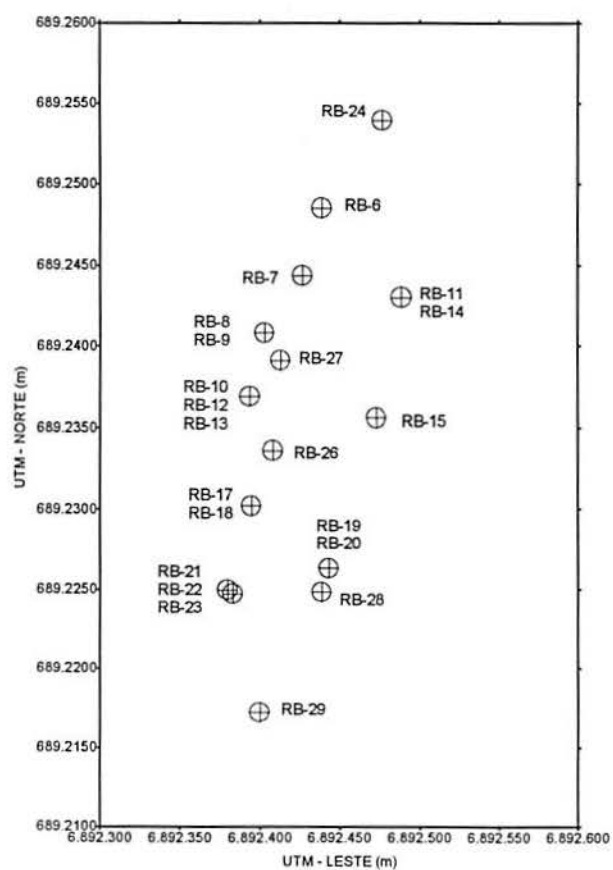


Figura 6.3 - Disposição das sondagens na área da mina Rio dos Bugres.

7. RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE DAS DESCONTINUIDADES GEOESTRUTURAIS

7.1 ORIENTAÇÃO

Os levantamentos estruturais realizados nos Acessos e nas Cabeceiras S1 e S2 em todos os níveis da mina, permitiram a determinação dos estereogramas de pólos e os diagramas de rosetas, necessários à determinação e descrição das orientações principais das descontinuidades presentes no maciço rochoso e mapeadas nas galerias da mina.

A projeção esférica usada para todos os casos é a de igual área ou de Schmidt-Lambert, utilizando o hemisfério inferior como referência. Para a contagem de pólos a unidade de área é de 1% da área do diagrama.

Os diagramas polares e de rosetas, realizados para os setores mapeados da Mina Rio dos Bugres, mostram o agrupamento das descontinuidades em dois grupos principais, o primeiro com direção do mergulho compreendido entre 90° e 160° e o segundo entre 270° e 330° , conforme pode ser visto nos diagramas apresentados nas Figuras 7.1 até 7.5.

Estes dois agrupamentos refletem a existência de uma família de descontinuidades predominante, com direção (*strike*) compreendida entre NS e N70E e mergulho para NW e SE. Esta família está presente, com maior ou menor intensidade, tanto nos Acessos como nas Cabeceiras S1 e S2, em todos os níveis da mina.

No Nível 18, o mais superficial da mina, foi registrada a maior presença relativa de descontinuidades em direções diferentes da família N-70E, (principalmente na Cabeceira 18 S2, Anexo B-1) como é visto na Figura 7.1. Neste nível existem ainda descontinuidades com mergulho inferior aos 60° , fator diferencial em relação aos altos mergulhos verificados na maior parte das descontinuidades observadas nos outros níveis, e relatadas adiante. Estas

estruturas estão possivelmente relacionadas com as litologias sedimentares, presentes ainda nesta profundidade.

O Nível 60, como pode ser visto na Figura 7.2, apresenta maior ocorrência de descontinuidades com direção do mergulho compreendido entre 290° e 310° e, secundariamente, aquelas compreendidas entre 110° e 140° . Neste Nível estão presentes ainda descontinuidades com direção do mergulho entre 210° e 270° , possivelmente como evidência de fraturas contidas em litologias superficiais, mais fortemente presentes no Nível 18 e com decrescente intensidade no Nível 102.

Os Níveis mais profundos da mina, 102, 152 e 223, apresentam descontinuidades em direções mais homogêneas, com as direções do mergulho compreendidas entre 90° e 160° . Os estereogramas e seus correspondentes diagramas de rosetas para os pólos são registrados nas Figuras 7.3, 7.4 e 7.5. É verificada a presença relativamente escassa de descontinuidades com baixos mergulhos, estando algumas presentes nas galerias 102 S1, 152 S1, 152 S2, 223 S1 e 223 S2, estes diagramas encontram-se no Anexo B.

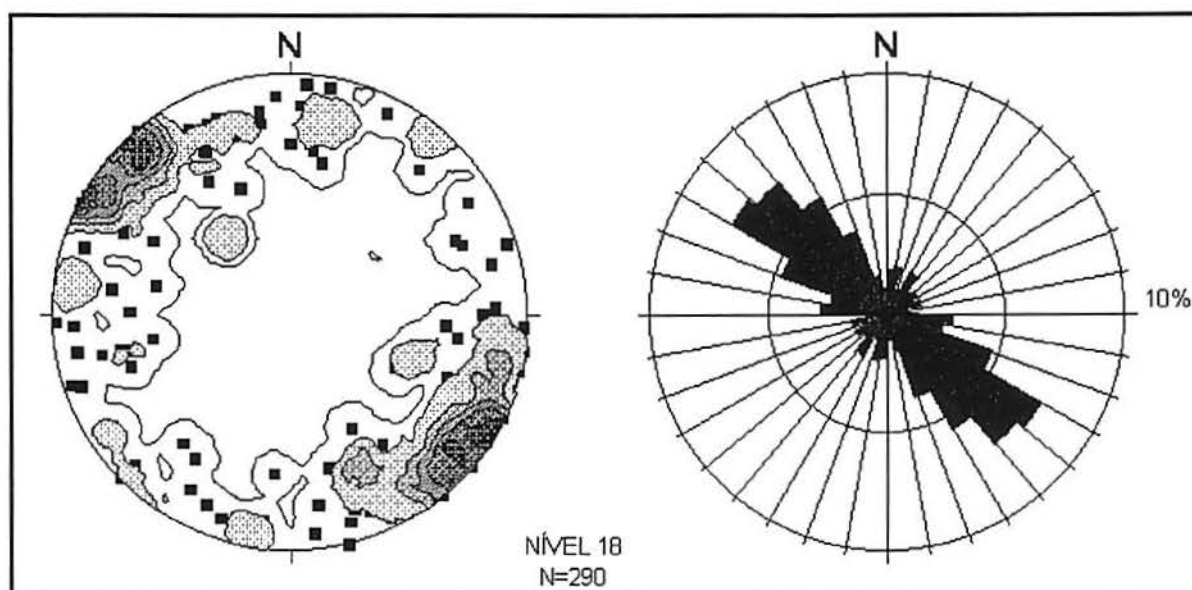


Figura 7.1 - Diagrama polar e de rosetas para as descontinuidades registradas no Nível 18.

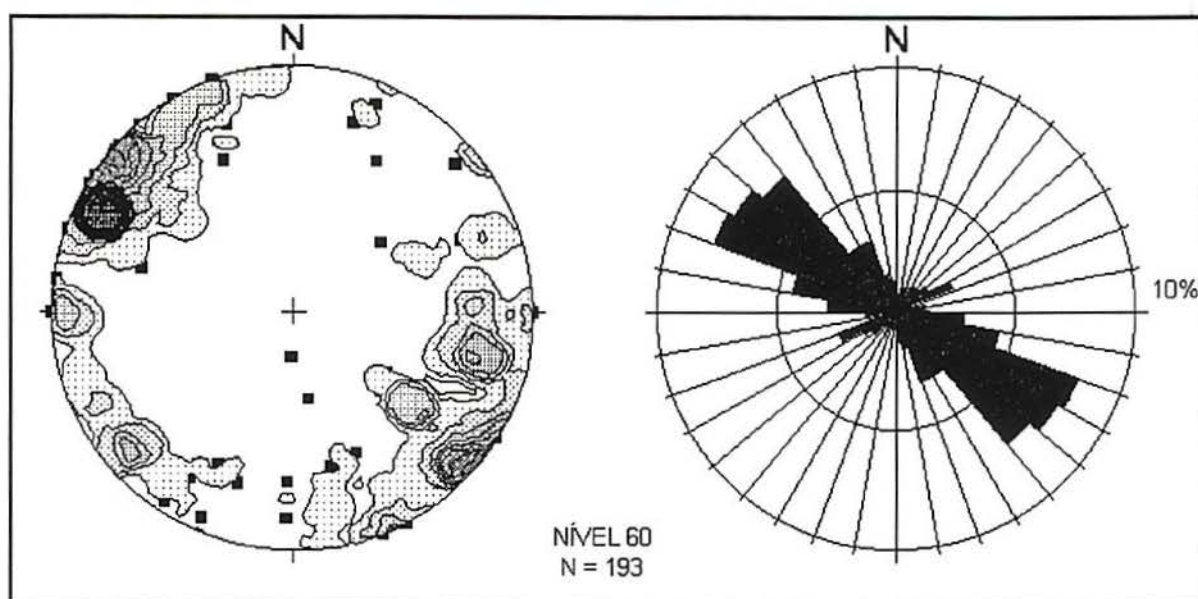


Figura 7.2 - Diagrama polar e de rosetas para as descontinuidades registradas no Nível 60.

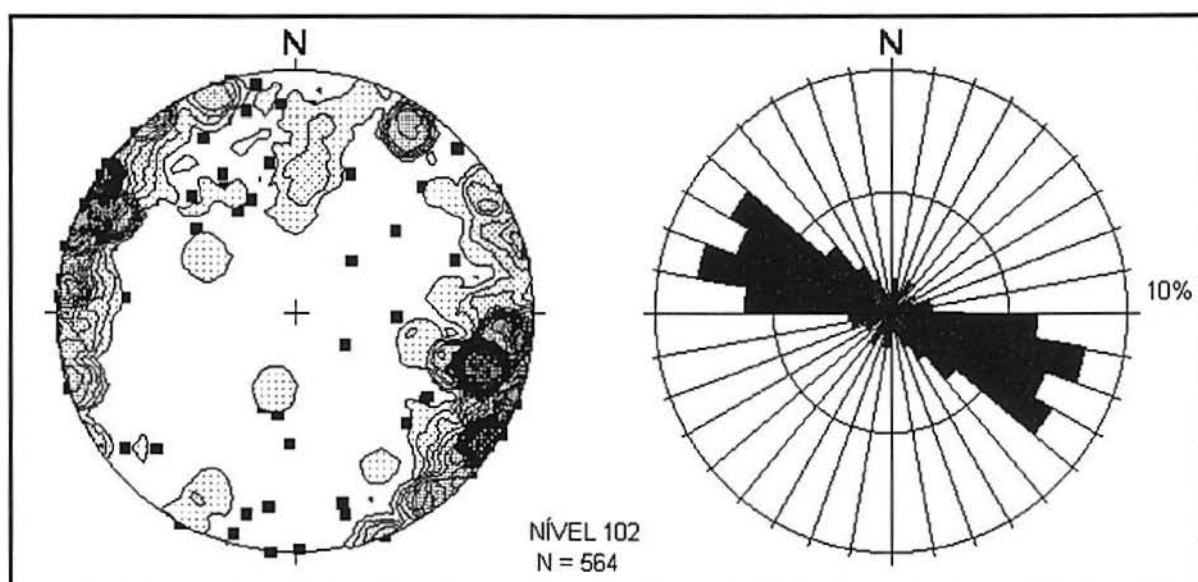


Figura 7.3 - Diagrama polar e de rosetas para as descontinuidades registradas no Nível 102.

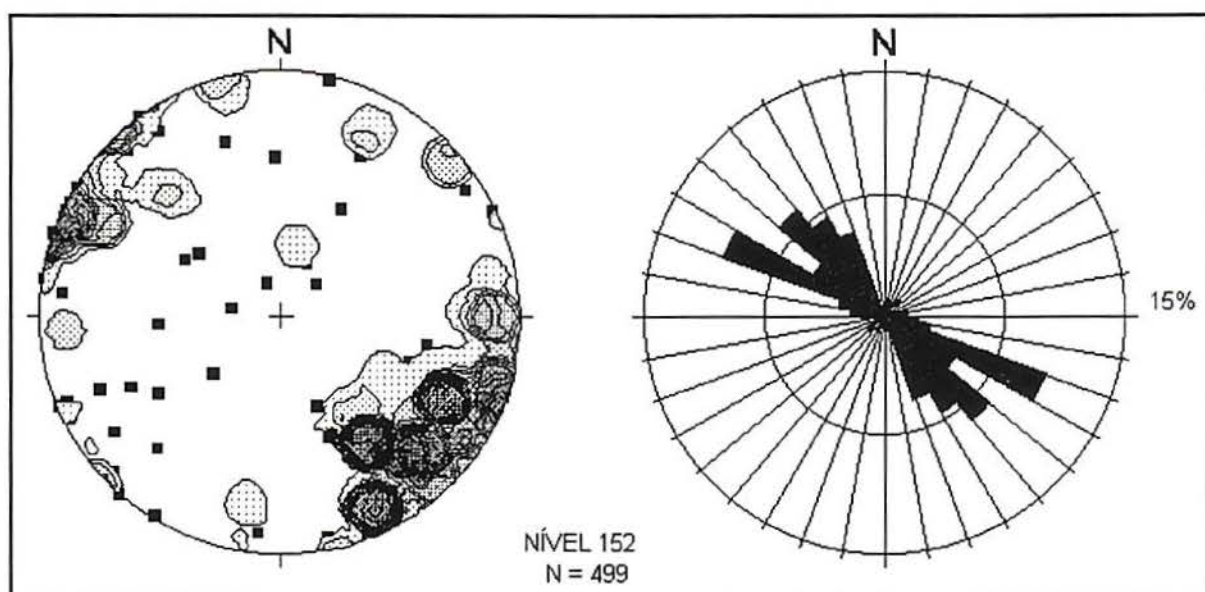


Figura 7.4 - Diagrama polar e de rosetas para as descontinuidades registradas no Nível 152.

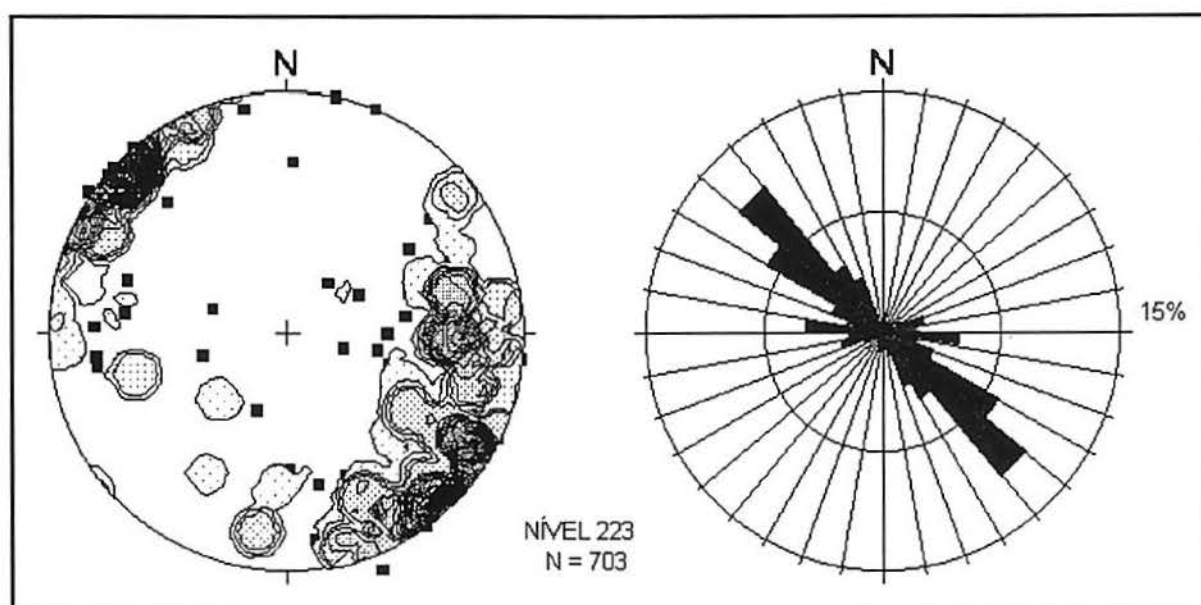


Figura 7.5 - Diagrama polar e de rosetas para as descontinuidades registradas no Nível 223.

7.2 MERGULHO

O tratamento estatístico dos dados provenientes dos levantamentos estruturais, realizados em setores da Mina Rio dos Bugres, mostrou grande variabilidade no valor do ângulo de mergulho registrado nos planos das discontinuidades.

Com o objetivo de estudar esta variabilidade, foram realizados histogramas do ângulo de mergulho para todos os planos de discontinuidades medidos. Assim, foi possível evidenciar a presença de uma população notadamente majoritária de discontinuidades com mergulhos elevados, principalmente situados acima dos 60°.

Esta característica das discontinuidades verifica-se de forma contínua em todos os setores mapeados, como pode ser visto nos histogramas das Figuras 7.6 até 7.10.

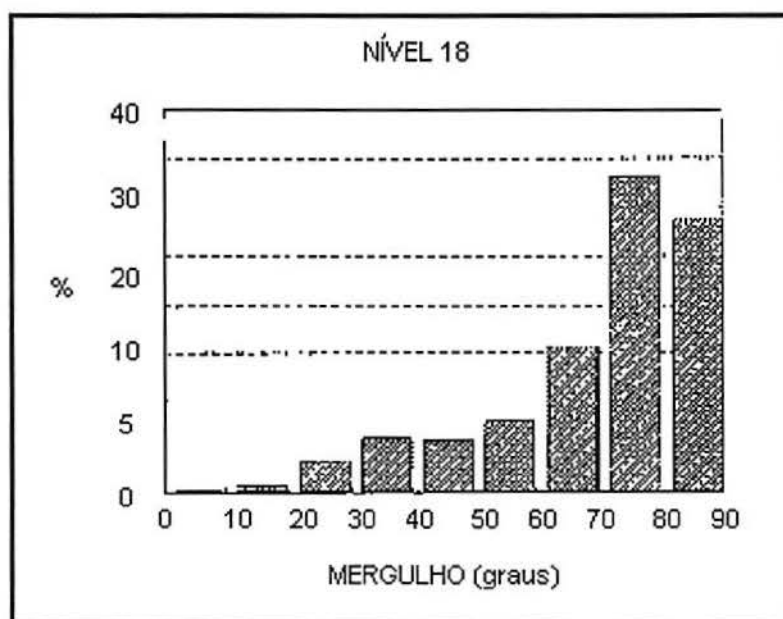


Figura 7.6 - Histograma dos valores do ângulo de mergulho para os planos das discontinuidades registradas no Nível 18 da Mina Rio dos Bugres.

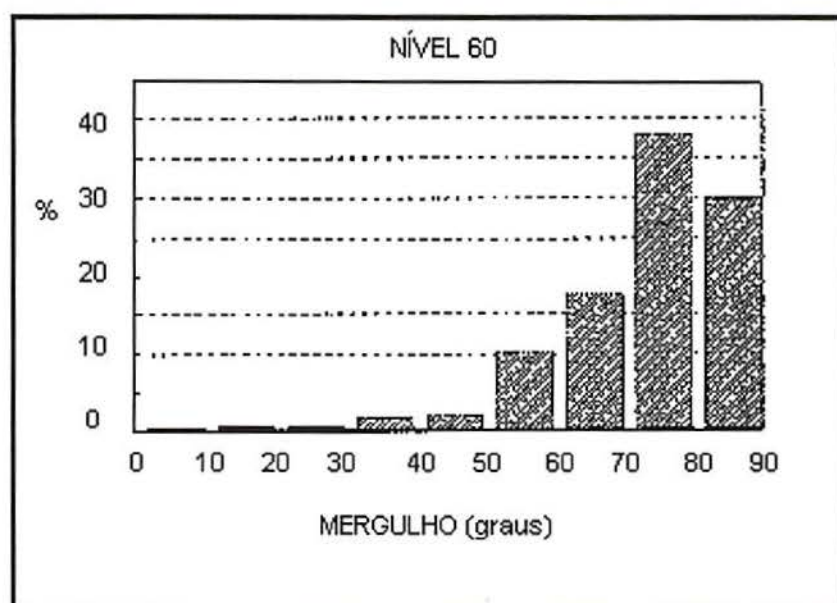


Figura 7.7 - Histograma dos valores do ângulo de mergulho para os planos das descontinuidades registradas no Nível 60 da Mina Rio dos Bugres.

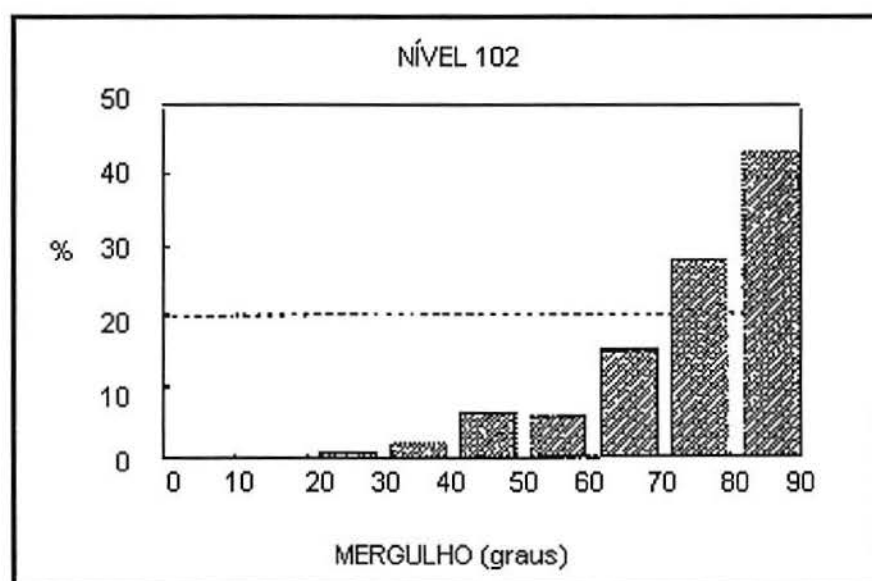


Figura 7.8 - Histograma dos valores do ângulo de mergulho para os planos das descontinuidades registradas no Nível 102 da Mina Rio dos Bugres.

Cabe ressaltar que nos Níveis 18 e 60 existe maior ocorrência de descontinuidades com o mergulho compreendido entre os 70° e os 80°; enquanto que nos Níveis 102, 152 e 223 ocorrem majoritariamente valores situados acima dos 80°.

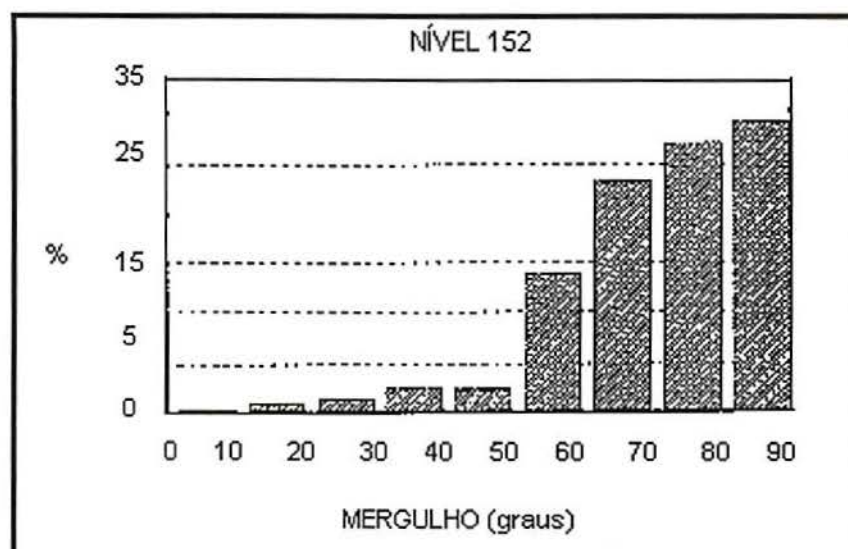


Figura 7.9 - Histograma dos valores do ângulo de mergulho para os planos das descontinuidades registradas no Nível 152 da Mina Rio dos Bugres.

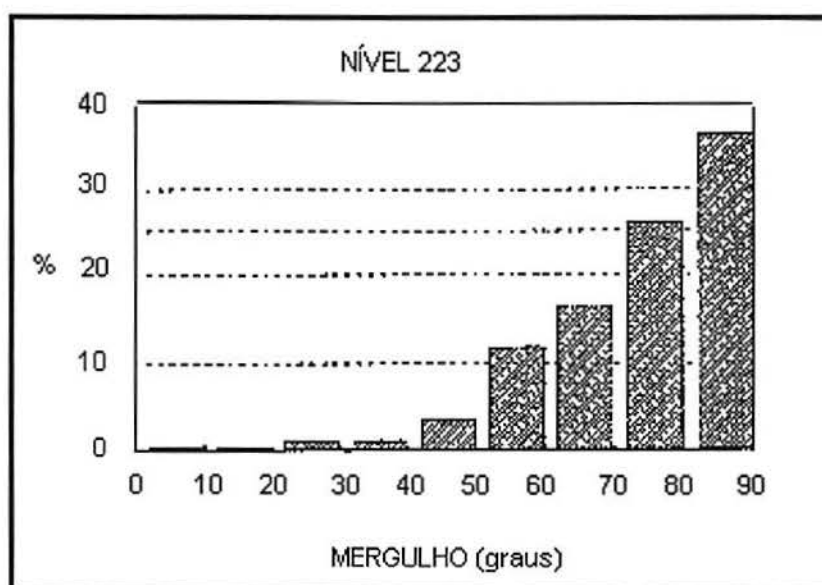


Figura 7.10 - Histograma dos valores do ângulo de mergulho para os planos das descontinuidades registradas no Nível 223 da Mina Rio dos Bugres.

7.3 ESPAÇAMENTO ENTRE DESCONTINUIDADES ADJACENTES

Um dos objetivos deste trabalho consiste no estudo das condições de fraturamento apresentadas pelo maciço rochoso situado nas proximidades das aberturas subterrâneas da Mina Rio dos Bugres.

Como antes mencionado, este objetivo tentará ser alcançado através da segmentação do maciço em setores com intensidades de fraturamento semelhantes, motivo pelo qual considerou-se desnecessários estudos sobre espaçamentos relacionados com famílias particulares de descontinuidades, de forma a ser necessário, unicamente, o conhecimento da posição e do espaçamento da descontinuidade em relação àquela imediatamente adjacente. A determinação do espaçamento entre descontinuidades adjacentes foi realizada seguindo as indicações apresentadas nos Capítulos 3 e 6. Os resultados da análise estatística são apresentados na Tabela 7.1.

Com o objetivo de conseguir uma melhor compreensão do grau de fraturamento do maciço, foram realizados histogramas para os valores do espaçamento entre descontinuidades.

Os histogramas, apresentados nas Figuras 7.11 até 7.15, mostram os valores agrupados em cada nível da mina, com a finalidade de obter-se uma idéia global em cada um deles. Estes histogramas permitem observar maior ocorrência de valores baixos do espaçamento. O intervalo de classe que apresenta maior frequência relativa é constituído, em todos os casos estudados, pelos valores inferiores aos 0,10 m.

Esta característica, registrada em todos os níveis da mina, permitiria classificar o espaçamento de maior ocorrência como "pequeno" segundo definição da ISRM-ABGE (ABGE, 1983) no qual esta designação compreende os valores situados entre 0,06 e 0,20 metros. Entretanto, fatores relacionados com a metodologia operacional podem influenciar esta classificação, uma vez que a precisão mínima de medição foi de 1cm, famílias de descontinuidades constituintes de zonas de falha, zonas cataclásadas e/ou milonitizadas podem apresentar

espaçamento igual ou inferior a este limite de medição, não havendo, portanto, possibilidade de ser registradas durante o levantamento.

Tabela 7.1 - Resultados obtidos a partir da análise estatística básica para os valores do espaçamento entre descontinuidades adjacentes, os resultados compreendem todos os setores levantados pelo método da *scanline* na Mina Rio dos Bugres.

LOCAL	COMPRI- MENTO MEDIDO (m)	No. DESCONTS	ESPAÇAMENTO ENTRE DESCONTINUIDADES					
			MÍNIMO (m)	MÁXIMO (m)	MÉDIA (m)	DESVIO PADRÃO (m)	MEDIANA (m)	MODA (m)
ACESSO 18	89,70	130	0,01	3,20	0,64	0,68	0,40	0,30
18 S1	59,70	86	0,01	3,60	0,65	0,67	0,37	0,30
18 S2	50,40	74	0,06	3,10	0,66	0,60	0,50	0,20
ACESSO 60	59,00	101	0,01	1,82	0,51	0,43	0,38	0,30
60 S1	46,85	63	0,01	11,73	0,65	1,58	0,20	0,01
60 S2	46,19	29	0,01	10,68	1,43	2,40	0,74	0,01
ACESSO 102	60,40	398	0,01	1,60	0,16	0,24	0,05	0,01
102 S1	51,82	123	0,01	3,90	0,37	0,55	0,20	0,01
102 S2	11,20	43	0,02	1,40	0,27	0,36	0,12	0,02
ACESSO 152	70,65	343	0,01	3,80	0,16	0,36	0,03	0,01
152 S1	59,32	132	0,01	8,75	0,46	0,92	0,15	0,11
152 S2	53,10	24	0,10	4,70	1,47	1,42	0,70	várias
ACESSO 223	79,80	591	0,01	2,93	0,14	0,30	0,07	0,01
223 S1	45,00	88	0,01	3,50	0,49	0,64	0,26	0,06
223 S2	46,00	24	0,05	2,45	0,87	0,78	0,67	0,15
TOTAL	829,13	2249						

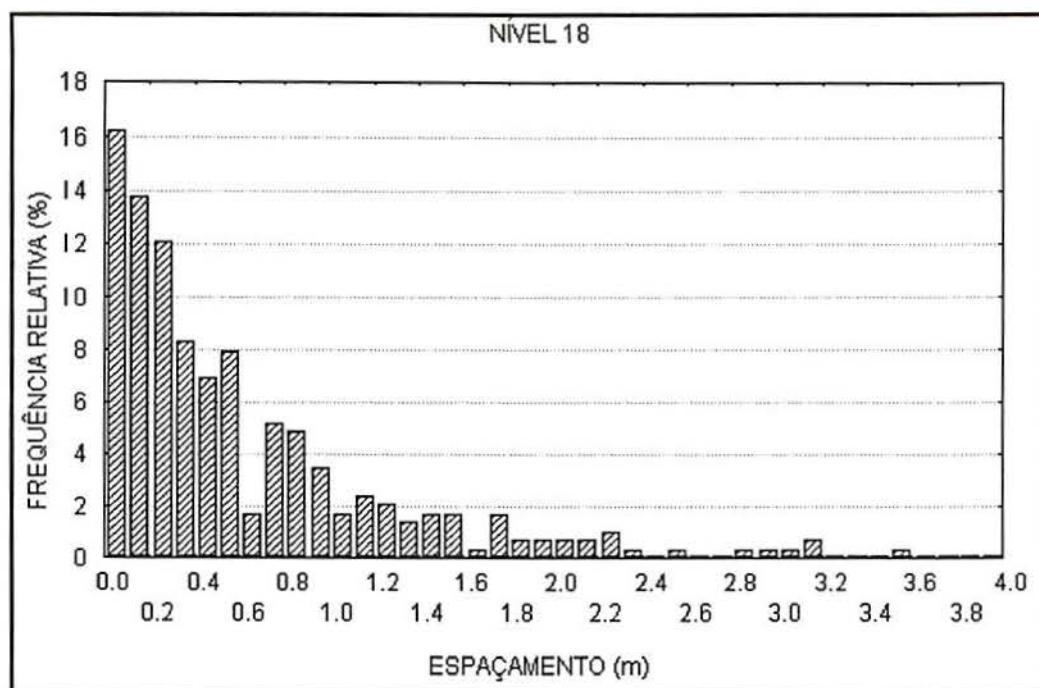


Figura 7.11 - Histograma dos valores do espaçamento para as descontinuidades registradas no Nível 18 da Mina Rio dos Bugres.

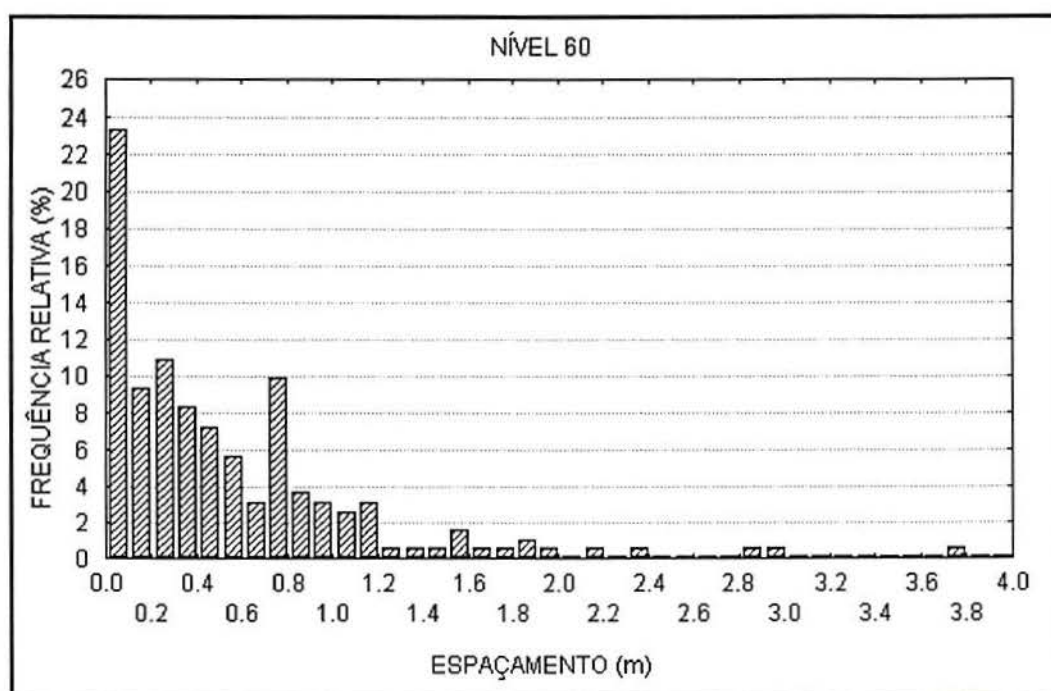


Figura 7.12 - Histograma dos valores do espaçamento para as descontinuidades registradas no Nível 60 da Mina Rio dos Bugres.

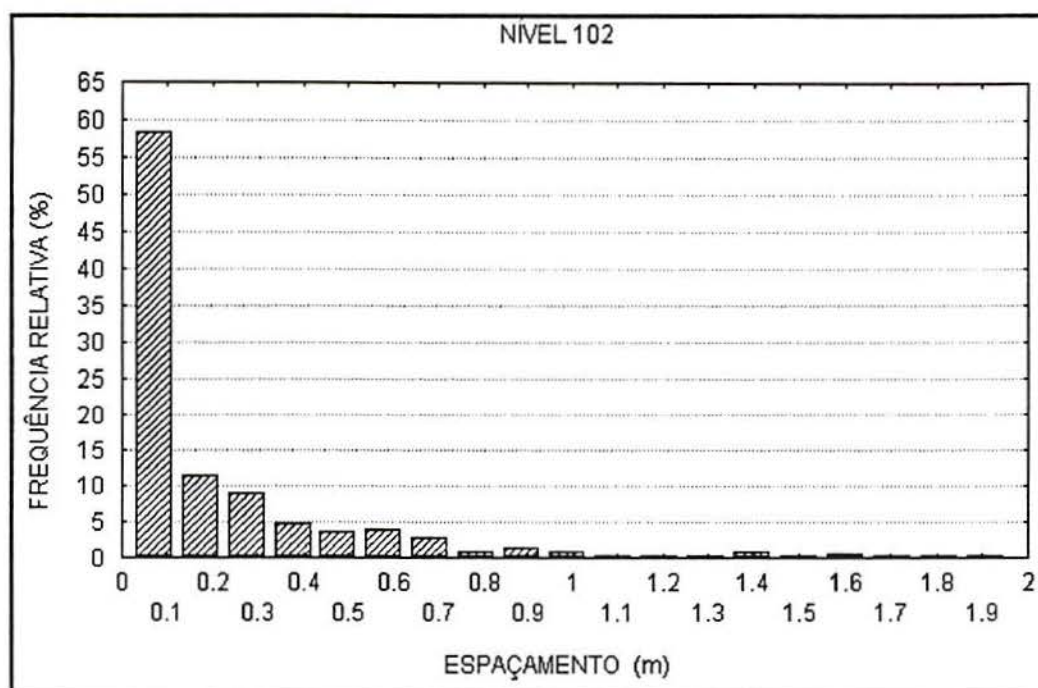


Figura 7.13 - Histograma dos valores do espaçamento para as descontinuidades registradas no Nível 102 da Mina Rio dos Bugres.

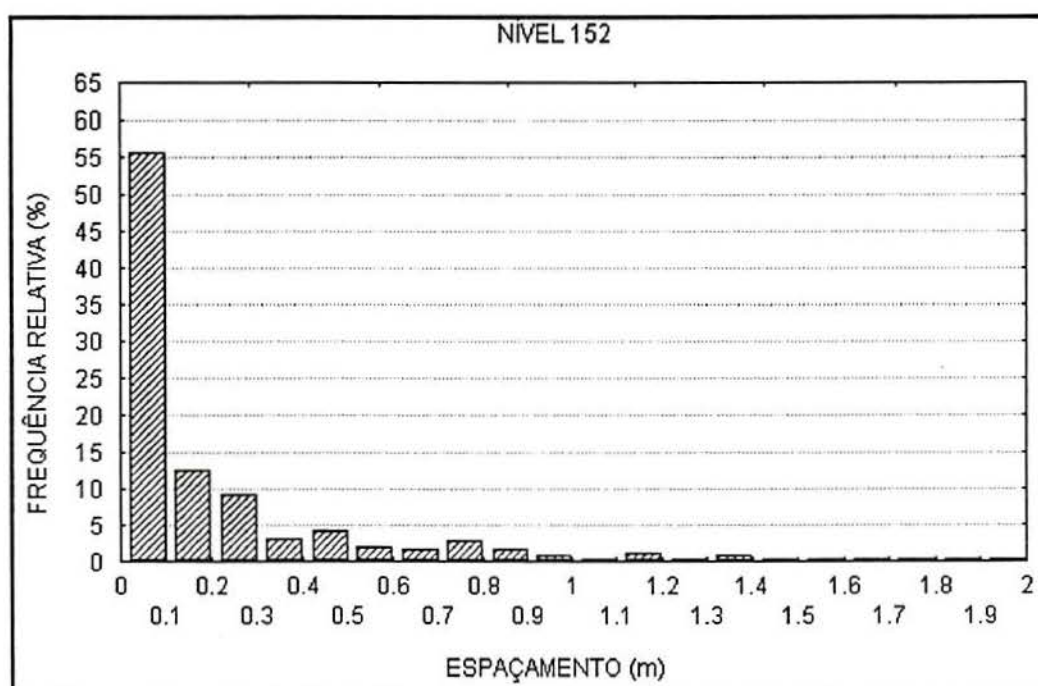


Figura 7.14 - Histograma dos valores do espaçamento para as descontinuidades registradas no Nível 152 da Mina Rio dos Bugres.

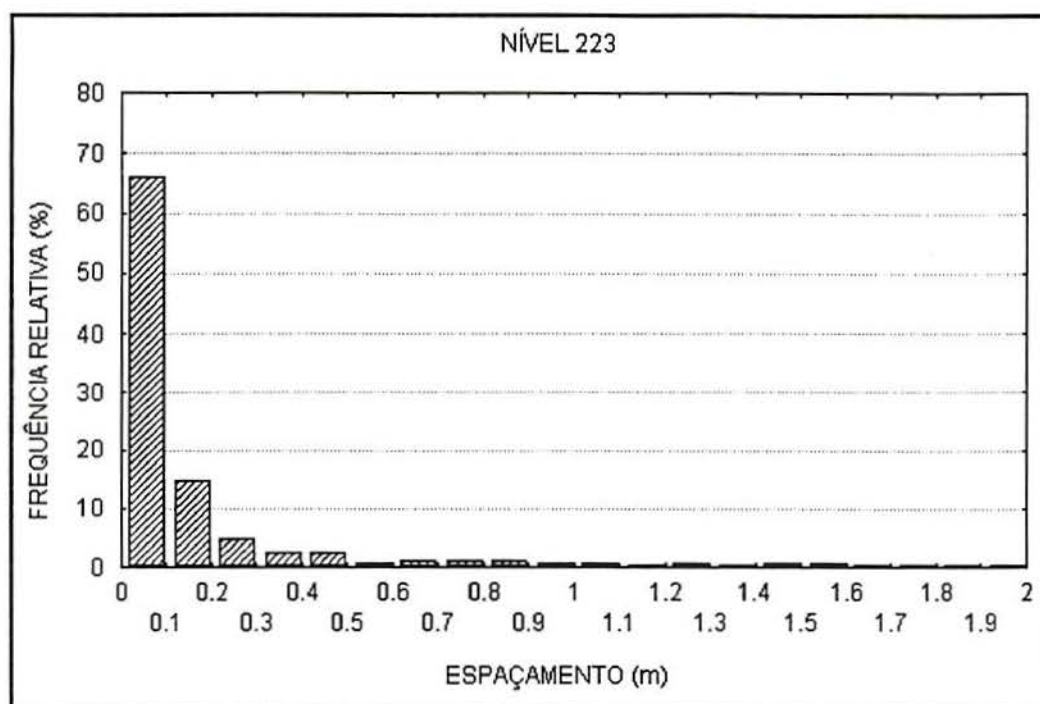


Figura 7.15 - Histograma dos valores do espaçamento para as descontinuidades registradas no Nível 223 da Mina Rio dos Bugres.

Finalmente, deve-se considerar que, constituindo o espaçamento uma variável contínua, a representação nos histogramas deveria ser realizada, a rigor, através de linhas de frequência relativa, ao invés de barras, entretanto, considera-se que as características de interesse para este estudo permanecem claramente visíveis com o método gráfico empregado.

7.4 MODELAMENTO BIDIMENSIONAL DA DENSIDADE DE FRATURAMENTO

Os dados obtidos no levantamento estrutural foram usados, posteriormente, com o objetivo de descrever a qualidade do maciço rochoso. A descrição foi realizada por meio da segmentação do maciço rochoso em setores que apresentassem condições de fraturamento semelhantes.

Desta forma, foram determinados trechos do maciço levantado, nos quais fosse possível identificar iguais condições de densidade linear de fraturamento.

A densidade linear de fraturamento define-se de forma semelhante ao conceito de frequência das descontinuidades λ de Priest e Hudson (1976), como

visto no Capítulo 2, uma vez que corresponde ao número de descontinuidades por unidade de comprimento. No presente estudo, a densidade linear de fraturamento é então definida como:

Densidade linear = $1 / \text{espaçamento entre duas descontinuidades adjacentes}$.

No presente estudo, quando foi identificada uma família de descontinuidades no campo, a densidade linear foi calculada a partir do espaçamento médio da família.

Desta forma, a densidade linear é tratada como uma característica quantitativa do maciço, associada à posição espacial da descontinuidade, uma vez que ela é obtida em relação a(s) descontinuidade(s) imediatamente subsequente(s). Este fator determina sua diferença em relação com a frequência de descontinuidades λ , calculada para uma família de descontinuidades, através do espaçamento médio (Priest e Hudson, 1976).

O valor da densidade linear, obtido para a posição da descontinuidade registrada no maciço, foi plotado na sua posição correspondente, sendo realizada, a seguir, a interpolação espacial destes valores, operação realizada através do *software* Surfer® (Golden Software, 1994) adequado para esta finalidade.

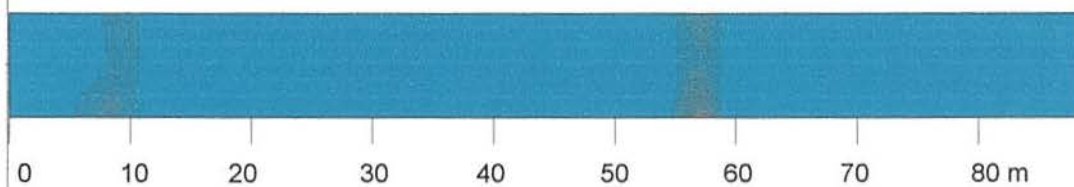
Os diagramas de densidade linear de fraturamento, obtidos desta forma para os Acessos e para as Cabeceiras S1 e S2, são mostrados nas Figuras 7.16, 7.17 e 7.18, dispostos na forma de seção vertical longitudinal à direção das respectivas galerias.

Nestas Figuras, e com o objetivo de representar a posição relativa das galerias, foi conservada a diferença existente na direção horizontal. Os deslocamentos foram medidos nas respectivas plantas dos níveis, escala 1:250, elaboradas pela empresa de mineração, e são apresentados graficamente nas seções verticais e numericamente na Tabela 7.2

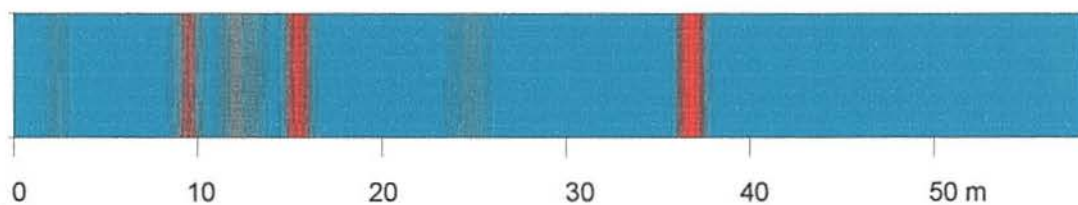
Escala de deslocamento na direção dos Acessos.

0 35 70 m

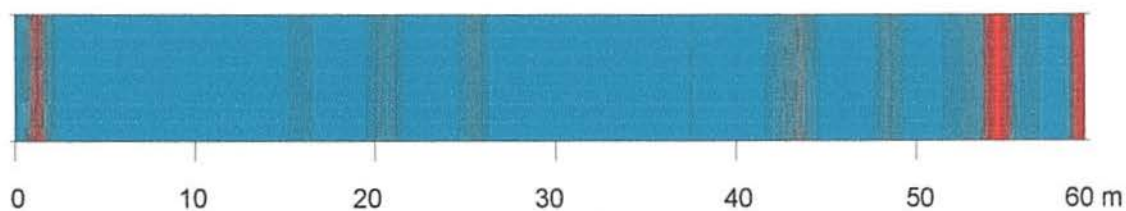
NÍVEL 18



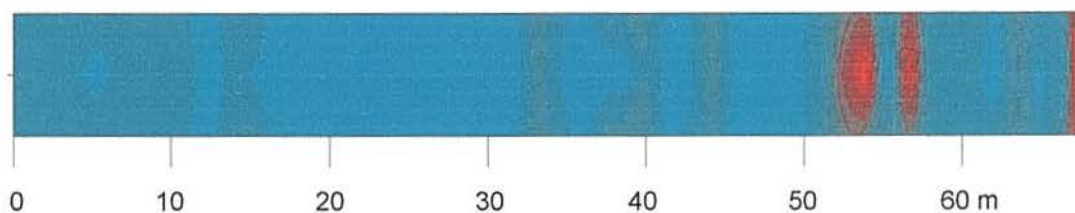
NÍVEL 60



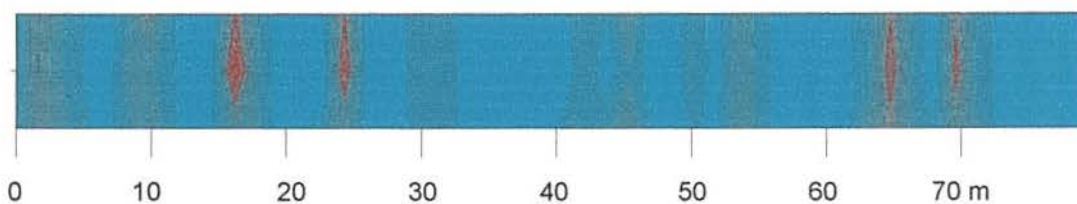
NÍVEL 102



NÍVEL 152



NÍVEL 223



Descontinuidades/metro

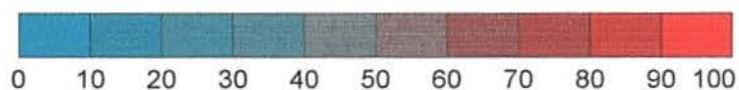


Figura 7.16 - Diagramas representando a densidade linear de fraturamento registrada nos Acessos. A escala vertical não é representada.

Deslocamento na direção das Cabeceiras S1

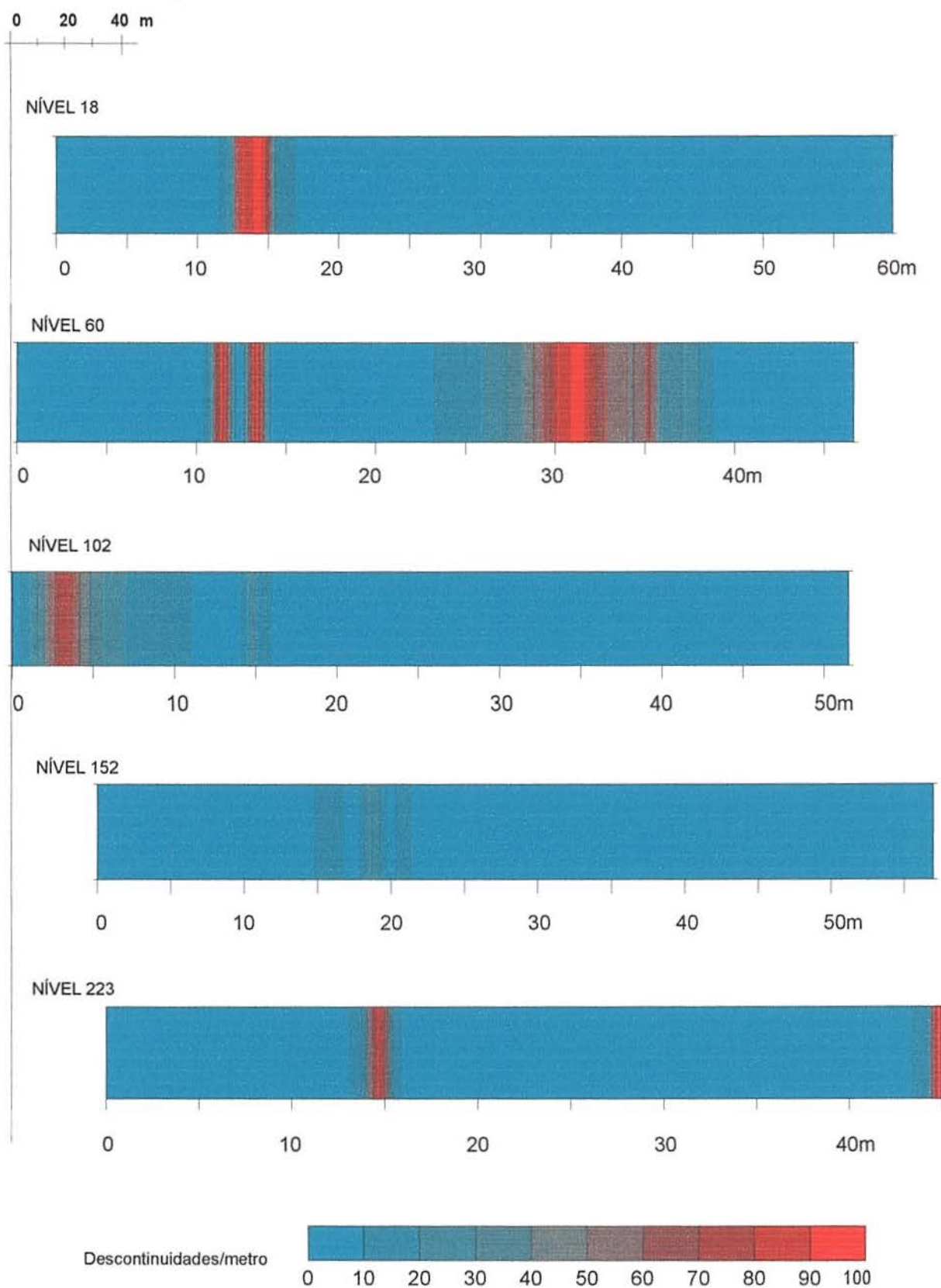


Figura 7.17 - Diagramas representando a densidade linear de fraturamento registrada nas Cabeceiras S1. A escala vertical não é representada.

Deslocamento na direção da Cabeceira S2

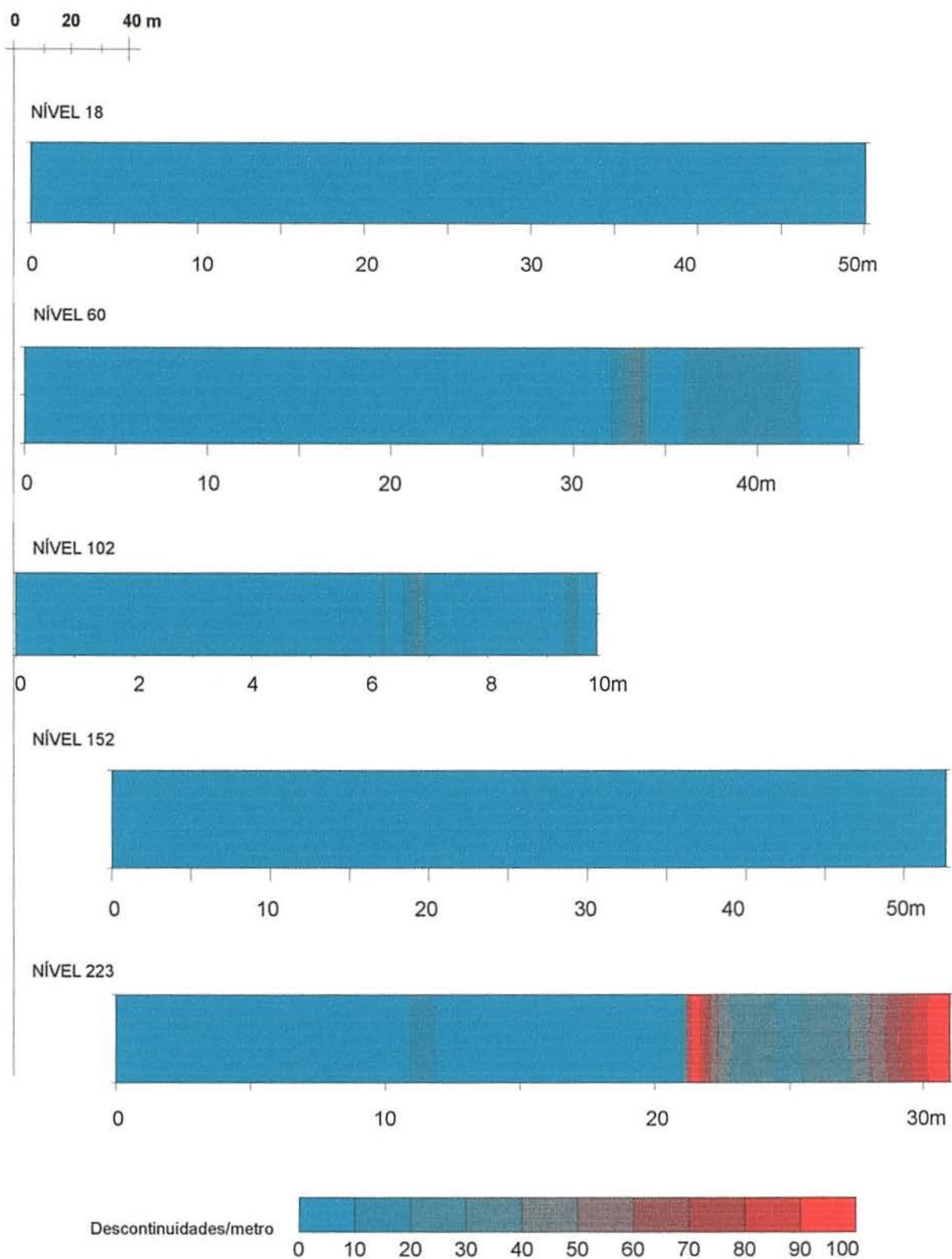


Figura 7.18 - Diagramas representando a densidade linear de fraturamento registrada nas Cabeceiras S2. A escala vertical não é representada.

Tabela 7.2 - Valores dos deslocamentos, calculados para os setores mapeados, mostrados nas escalas gráficas das Figuras 7.16 a 7.18.

Deslocamento horizontal (m)			
Nível	Cabeceira S1	Cabeceira S2	Acesso
18	15	4	0
60	1	2	20
102	0	0	33
152	30	32	34
223	37	37	68

Os diagramas obtidos para as Cabeceiras situadas no Filão 1 apresentam predominância de setores mostrando densidades de fraturamento inferiores a 10 descontinuidades/metro para a maioria das galerias, embora seja possível observar em alguns trechos de vários metros de extensão, densidades atingindo 100 descontinuidades/metro.

Nos diagramas correspondentes à Cabeceira S1, é visível a maior concentração de descontinuidades ao longo do Nível 60, especialmente entre os 25 e os 40 metros.

Nos diagramas correspondentes às Cabeceiras S2, é visível a predominância de valores baixos de densidade de fraturamento, comparativamente inferiores às registradas nas Cabeceiras S1 e aos Acessos.

Nestes diagramas também é possível visualizar que o Nível 18 registra maior ocorrência de densidade baixas, ao contrário dos outros quatro níveis inferiores, onde ocorre alternância de setores mais fraturados com outros menos fraturados.

7.5 RQD CALCULADO PARA OS TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

O cálculo do *Rock Quality Designation* (RQD) a partir dos testemunhos de sondagem, visa dois objetivos principais: primeiro, como parâmetro complementar para a descrição do maciço amostrado e segundo, como um dos parâmetros de

entrada para o sistema de classificação de maciços rochosos RMR, posteriormente apresentado no Capítulo 8.

Para o cálculo dos comprimentos superiores a 0,10 m foram considerados os trechos de testemunhos com condições de fraturamento visualmente semelhantes. Esta operação pretende facilitar a diferenciação entre os trechos mais fraturados dos menos fraturados. Para esta avaliação foram utilizados trechos com um comprimento máximo aproximado de 5 metros. Devido à inexistência de sondagens no diâmetro recomendado pela ISRM (ISRM, 1978), foram usados os testemunhos nos diâmetros disponíveis. O RQD foi calculado para vinte (20) furos de sondagem, e os resultados obtidos encontram-se na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 Resultados do RQD calculado em sondagens da Mina Rio dos Bugres.

SONDAGEM	COMPRIMENTO TOTAL (m)	COMPRIMENTO SUPERIOR A 0,1m	RQD %	CLASSIFICAÇÃO (Deere, 1968 in Bieniawski, 1989))
RB-06	91,0	44,1	48,4	Ruim
RB-7	90,4	29,4	32,6	Ruim
RB-08	106,0	37,9	35,7	Ruim
RB-09	150,0	79,3	52,8	Regular
RB-10	102,5	42,9	42,3	Ruim
RB-11	101,8	60,9	59,8	Regular
RB-12	105,5	33,3	31,5	Ruim
RB-13	110,3	59,8	54,2	Regular
RB-14	168,0	82,6	49,1	Ruim
RB-15	150,0	69,6	46,4	Ruim
RB-17	91,4	55,9	61,1	Regular
RB-18	155,5	136,0	87,4	Boa
RB-19	130,0	81,3	62,5	Regular
RB-21	93,0	57,85	67,2	Regular
RB-22	81,4	31,5	38,6	Ruim
RB-24	75,0	33,1	44,1	Ruim
RB-25	51,7	25,41	49,1	Ruim
RB-26	80,2	27,5	34,2	Ruim
RB-27	102,7	42,84	41,7	Ruim
RB-28	69,5	10,4	14,9	Muito ruim

7.6 RQD TEÓRICO DOS SETORES MAPEADOS

Com o uso da equação [3.1] foram obtidos valores de RQDT a partir dos dados dos espaçamentos registrados nos setores mapeados. Este procedimento foi realizado mantendo as considerações estatísticas efetuadas nos Capítulos 2 e 3 e considerando-se um nível de confiança estatístico de 95%.

A equação utilizada é a seguinte:

$$RQDT = 100 e^{-t\lambda} (t\lambda + 1);$$

onde t corresponde ao valor base, tradicionalmente estipulado em 0,10 m.

Os valores do RQDT obtido desta forma encontram-se na Tabela 7.4.

Tabela 7.4 - Cálculo do RQD teórico para os setores da Mina Rio dos Bugres.

			MÉDIA DO ESPAÇAMENTO (m)			FREQUÊNCIA λ (m ⁻¹)		RQDT base: 0,1m %	
SETOR	No. DESCS.	ERRO %	MEDIDA	MÍNIMA	MÁX.	MÍNIMA	MÁX.	MÍNIMO	MÁX.
ACESSO 18	130	17,1	0,64	0,53	0,75	1,33	1,89	98,4	99,1
18 S1	86	21,1	0,65	0,51	0,79	1,27	1,96	98,3	99,2
18 S2	74	22,7	0,66	0,51	0,81	1,23	1,96	98,3	99,3
ACESSO 60	101	19,5	0,51	0,41	0,61	1,64	2,44	97,4	98,7
60 S1	63	24,6	0,65	0,49	0,81	1,23	2,04	98,1	99,3
60S2	29	36,3	1,43	0,91	1,95	0,51	1,10	99,4	99,8
ACESSO 102	398	9,8	0,16	0,14	0,18	5,56	7,14	83,9	89,2
102 S1	123	17,6	0,37	0,30	0,44	2,27	3,33	95,5	97,7
102 S2	43	29,8	0,27	0,19	0,35	2,86	5,26	90,1	96,6
ACESSO 152	343	10,5	0,16	0,14	0,18	5,56	7,14	83,9	89,2
152 S1	132	17,0	0,46	0,38	0,54	1,85	2,63	97,0	98,4
152 S2	24	40,0	1,47	0,88	2,06	0,49	1,14	99,3	99,8
ACESSO 223	591	8,0	0,14	0,13	0,15	6,67	7,69	81,9	85,5
223 S1	88	20,8	0,49	0,39	0,59	1,69	2,56	97,2	98,7
223 S2	24	40,0	0,87	0,52	1,22	0,82	1,92	98,3	99,6

De forma alternativa ao RQDT calculado para valor base de 0,1 m, foi determinado aquele correspondente à base de 0,2 m. Esta operação tem a intenção de permitir diferenciar de forma mais notória as variações na intensidade de fraturamento do maciço. Os resultados podem ser vistos numericamente na Tabela 7.5 e graficamente na Figura 7.19.

Tabela 7.5 - Comparação entre valores do RQDT obtidos para valores base de 0,1 e 0,2m.

SETOR	RQDT (0,1m) %		RQDT (0,2m) %	
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
Acesso 18	98,4	99,1	94,4	97,0
18 S1	98,3	99,2	94,0	97,2
18 S2	98,3	99,3	94,0	97,4
Acesso 60	97,4	98,7	91,3	95,6
60 S1	98,1	99,3	93,6	97,4
60 S2	99,4	99,8	97,9	99,5
Acesso 102	83,9	89,2	58,2	69,4
102 S1	95,5	97,7	85,5	92,3
102 S2	90,1	96,6	71,6	88,7
Acesso 152	83,9	89,2	58,2	69,4
152 S1	97,0	98,4	90,1	94,6
152 S2	99,3	99,8	97,7	99,5
Acesso 223	81,9	85,5	54,5	61,4
223 S1	97,2	98,7	90,6	95,4
223 S2	98,3	99,6	94,2	98,7

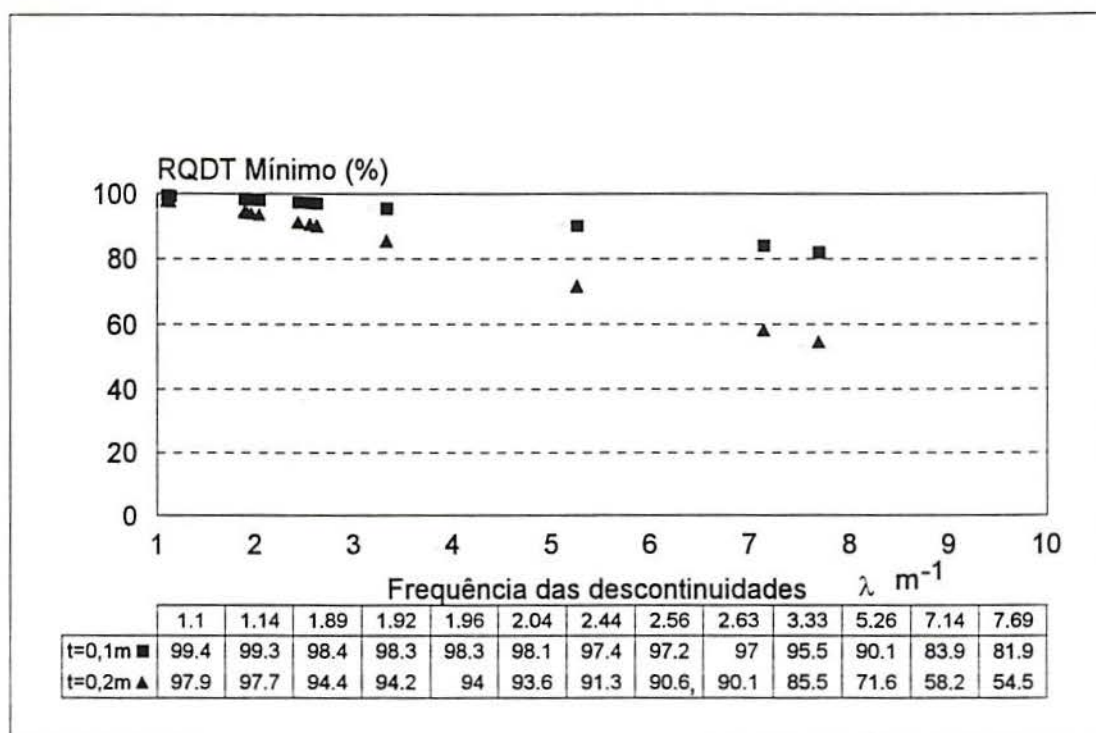


Figura 7.19 - Relação entre o RQD teórico mínimo e a frequência de descontinuidades λ , registrada em todos os setores levantados pelo método da *scanline* na mina Rio dos Bugres.

Adicionalmente, foi determinada uma regressão linear que representasse a relação entre o RQDT e a frequência das descontinuidades. A obtenção desta relação foi realizada com os valores do RQDT mínimo.

A equação linear procurada seria da forma

$$\text{RQDT} = a - b \lambda \quad [7.1]$$

onde a e b são constantes a ser determinadas estatisticamente.

A relação procurada apresenta a forma:

$$\text{RQDT} (\%) = 103,6 - 2,7 \lambda \quad [7.2]$$

Para base de 0,10 metros, e

$$\text{RQDT} (\%) = 107,2 - 6,8 \lambda \quad [7.3]$$

Para base de 0,20 metros.

As equações [7.2] e [7.3] são comparáveis com as equações [3.3] de Priest e Hudson (1976) e [3.4] da ISRM (1978).

Na figura 7.20 é apresentado o ajuste realizado através de regressão linear, tanto para $t=0,10\text{m}$ como para $t=0,20\text{m}$.

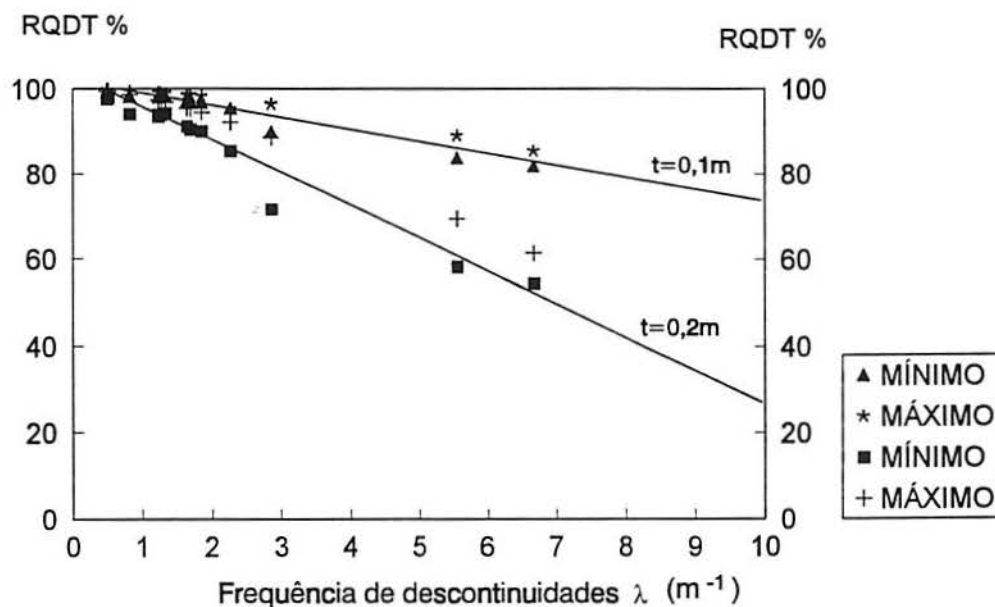


Figura 7. 20 - Relação entre o RQD teórico e a frequência de descontinuidades λ . É representado também o ajuste linear encontrado, os dados correspondem a todos os setores mapeados na Mina Rio dos Bugres.

8. CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA ATRAVÉS DO SISTEMA RMR

8.1 INTRODUÇÃO

O objetivo de uma classificação geomecânica consiste, principalmente, na obtenção de valores representativos que permitam avaliar as condições do maciço; condições estas referidas tanto ao material rochoso quanto às descontinuidades geoestruturais existentes. A avaliação destas condições fornece uma base de informações úteis para uma melhor compreensão do comportamento provável do maciço rochoso, tendo em vista, principalmente, o método de lavra e as condições de sustentação/escoramento.

Na mina Rio dos Bugres, a observação, medição e registro de características tais como a orientação e o espaçamento das descontinuidades, foram efetuadas durante os levantamentos estruturais.

Entretanto, o desenvolvimento de uma classificação geomecânica exige a aquisição de novas informações; esta situação veio ressaltar a necessidade de definir um setor, entre aqueles mapeados, como objeto da classificação, uma vez que seria econômica e operacionalmente impraticável, nas condições deste trabalho, a aplicação deste método de classificação em todas as áreas onde foram efetuados levantamentos estruturais.

Desta forma, a classificação do maciço rochoso através do sistema RMR foi realizada sobre setores do Nível 102. A escolha deste Nível deve-se a dois fatores principais, em primeiro lugar, à existência neste Nível dos testemunhos de sondagem necessários para a obtenção de amostras com vistas a determinar a resistência à compressão uniaxial, um dos parâmetros da classificação do sistema RMR; em segundo lugar ao método de lavra planejado para a mina, o qual prevê o início da extração de minério pelo método do corte e enchimento, em forma ascendente a partir do Nível 152, sendo, portanto, de interesse prático estudar inicialmente e com mais detalhe esta área.

8.2 PROCEDIMENTO

Uma primeira visualização da área mapeada no Nível 102 mostra que, tendo em vista a classificação geomecânica, o maciço rochoso pode ser dividido em vários setores. Estes setores foram delimitados com base nas evidências geológicas e estruturais registradas na planta do Nível 102, escala 1:250, efetuada pela empresa (CBA, 1983). As evidências geológicas em questão são constituídas principalmente pelos contatos litológicos entre os granitoides, as falhas principais e zonas de cisalhamento. A segmentação do maciço classificado no Nível 102 pode ser observada na Planta 8.1, página 92.

No relacionado aos parâmetros de classificação, o método RMR aplicado no Nível 102 apresenta diferença em relação ao método apresentado por Bieniawski (1989), no que se refere à forma de obtenção do parâmetro RQD. Contrariamente ao estabelecido por Bieniawski, o RQD não foi obtido a partir dos testemunhos de sondagem, e sim calculado através da relação matemática:

$$RQD = 100 e^{-0,1 \lambda} (0,1 \lambda + 1) \quad [3.2]$$

determinada por Priest e Hudson (1976), usando o espaçamento médio entre as descontinuidades registradas em cada um dos setores.

De forma semelhante, o ajuste da avaliação, devido à orientação das descontinuidades em relação a orientação da abertura, é realizado com o auxílio dos estereogramas dos pólos das descontinuidades, também determinados para cada setor. Para a determinação dos valores das pontuações outorgadas aos parâmetros de classificação, foram usados gráficos de interpolação, apresentados por Bieniawski (1989).

Os valores da resistência à compressão uniaxial foram obtidos a partir dos ensaios efetuados nos testemunhos de sondagem, provenientes dos furos RB-07, RB-08 e RB-14, situados nas proximidades dos setores estudados. Os resultados destes ensaios, elaborados pela Fundação de Ciência e Tecnologia, CIENTEC, encontram-se no Anexo C.

8.3 RESULTADOS

A classificação geomecânica realizada no Nível 102 através do sistema RMR, sugere a segmentação do maciço estudado em sete setores diferentes. Os parâmetros de avaliação e as pontuações outorgadas para cada setor são apresentadas em continuação.

SETOR 1 - Situado na Cabeceira 102 S2, a litologia predominante consiste de monzogranito de granulação grosseira. As descontinuidades apresentam altos mergulhos e direção sub-perpendicular ao eixo da escavação. As condições encontradas neste setor e sua avaliação são apresentadas na Tabela 8.1. O RMR obtido é de 52.

Tabela 8.1 - Avaliação dos parâmetros de classificação do Sistema RMR no Setor 1.

SETOR 1 - CAB 102 S2-		
PARÂMETRO	CONDIÇÃO/ AVALIAÇÃO	PONTUAÇÃO
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)	13,1	2
RQD (%)	95	19
Espaçamento das descontinuidades (m) *	0,27	9
Condições das descontinuidades	3	20
Água subterrânea	3	7
Ajuste direção e mergulho das juntas: sub-perpendicular**, mergulhos altos	Regular	-5
Classificação	Rocha regular	III
RMR		52

* Refere-se ao espaçamento médio entre as descontinuidades do setor.

** Embora neste setor as descontinuidades não estejam completamente perpendiculares, optou-se pela opção mais conservadora.

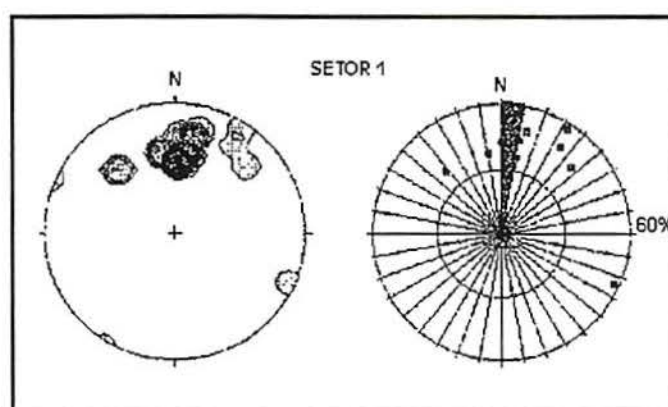


Figura 8.1 - Estereograma e diagrama de rosetas dos pólos das descontinuidades registradas no Setor 1, Nível 102.

SETOR 2 - Começa na confluência da Cabeceira 102 S2 com o Acesso 102 e prolonga-se por este, até os 11,0 m. A litologia predominante consiste de monzogranito de granulação grosseira.

Neste setor as famílias de descontinuidades registram mergulhos altos, estando as mesmas dispostas em direção maioritariamente perpendicular ao eixo da escavação. As condições encontradas neste setor e sua avaliação são apresentadas na Tabela 8.2.

Tabela 8.2 - Avaliação dos parâmetros de classificação do Sistema RMR no Setor 2.

SETOR 2 - Acesso 102		
PARÂMETRO	CONDIÇÃO/ AVALIAÇÃO	PONTUAÇÃO
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)	13,1	2
RQD (%)	73	14
Espaçamento das descontinuidades (m)	0,10	7
Condições das descontinuidades	2	25
Água subterrânea	2	10
Ajuste direção e mergulho das juntas: perpendicular, mergulhos altos	muito favorável	0
Classificação RMR	rocha regular	III 58

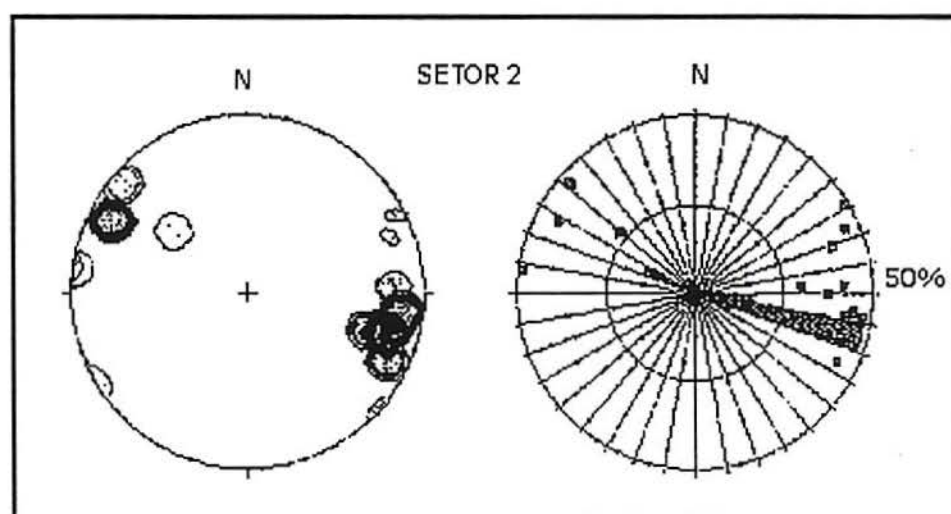


Figura 8.2 - Estereograma e diagrama de rosetas dos pólos das descontinuidades registradas no Setor 2, Nível 102.

SETOR 3 - Situado entre os 11,0 e os 27,0 m ao longo do Acesso. A litologia predominante consiste de monzogranito.

Neste setor as famílias de descontinuidades registram mergulhos altos, estando as mesmas dispostas em direção maioritariamente perpendicular ao eixo da escavação, entretanto, também existem famílias em disposição sub-paralela a este eixo. As condições encontradas neste setor e sua avaliação são apresentadas na Tabela 8.3.

Tabela 8.3 - Avaliação dos parâmetros de classificação do Sistema RMR no Setor 3.

SETOR 3 - Acesso 102		
PARÂMETRO	CONDIÇÃO/ AVALIAÇÃO	PONTUAÇÃO
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)	31,3	4
RQD (%)	95	19
Espaçamento das descontinuidades (m)	0,30	9
Condições das descontinuidades	2	25
Água subterrânea	2	10
Ajuste direção e mergulho das juntas: perpendicular, mergulhos altos	muito favorável	0
Classificação RMR	rocha boa	II
		67

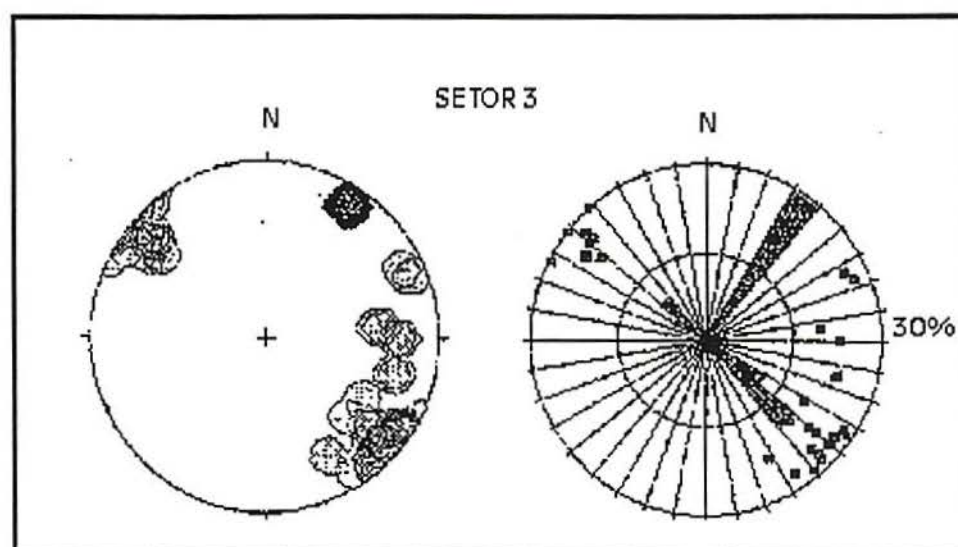


Figura 8.3 - Estereograma e diagrama de rosetas dos pólos das descontinuidades registradas no Setor 3, Nível 102.

SETOR 4 - Situado entre os 27,0 e os 32,0 m do Acesso. Predominam no setor monzogranitos cataclasados.

O setor apresenta famílias de descontinuidades dispostas em forma maioritariamente perpendicular ao eixo da escavação, os mergulhos são baixos. As condições encontradas neste setor e sua avaliação são apresentadas na Tabela 8.4.

Tabela 8.4 - Avaliação dos parâmetros de classificação do Sistema RMR no Setor 4.

SETOR 4 - Acesso 102		
PARÂMETRO	CONDIÇÃO/ AVALIAÇÃO	PONTUAÇÃO
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)	13,1	2
RQD (%)	97	20
Espaçamento das descontinuidades (m)	0,40	10
Condições das descontinuidades	2	25
Água subterrânea	2	10
Ajuste direção e mergulho das juntas: Perpendicular, mergulhos médios	favorável	-2
Classificação RMR	rocha boa	II
		65

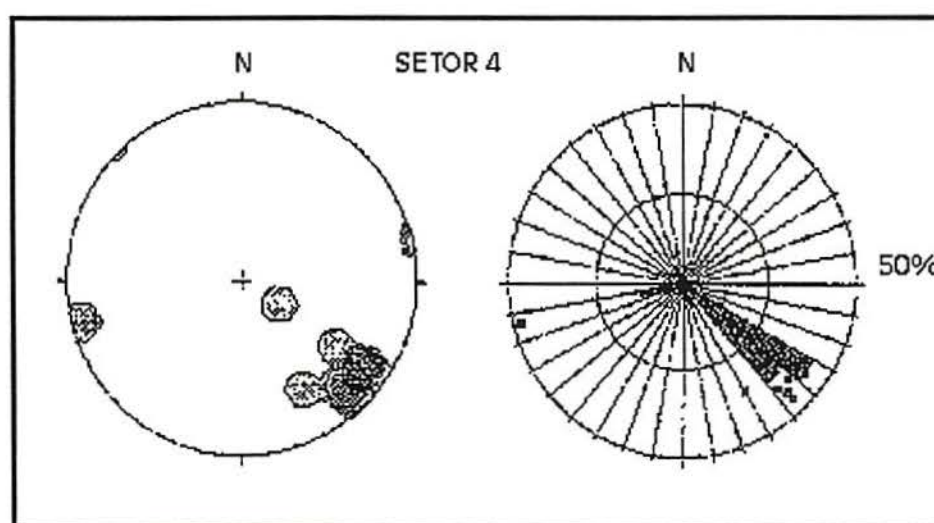


Figura 8.4 - Estereograma e diagrama de rosetas dos pólos das descontinuidades registradas no Setor 4, Nível 102.

SETOR 5 - Situado no Acesso, entre os 32,0 e os 47,0 m, a litologia predominante está composta por Quartzodioritos.

Neste setor as famílias de descontinuidades estão dispostas em direção maioritariamente perpendicular ao eixo da escavação, entretanto, também existem famílias minoritárias em direção sub-paralela, registrando baixos mergulhos. As condições encontradas neste setor e sua avaliação são apresentadas na Tabela 8.5.

Tabela 8.5 - Avaliação dos parâmetros de classificação do Sistema RMR no Setor 5.

SETOR 5 - Acesso 102		
PARÂMETRO	CONDIÇÃO/ AVALIAÇÃO	PONTUAÇÃO
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)	101,5	10
RQD (%)	85	17
Espaçamento das descontinuidades (m)	0,15	7
Condições das descontinuidades	2	25
Água subterrânea	2	10
Ajuste direção e mergulho das juntas: Perpendicular, mergulhos médios	favorável	-2
Classificação RMR	rocha boa	II 67

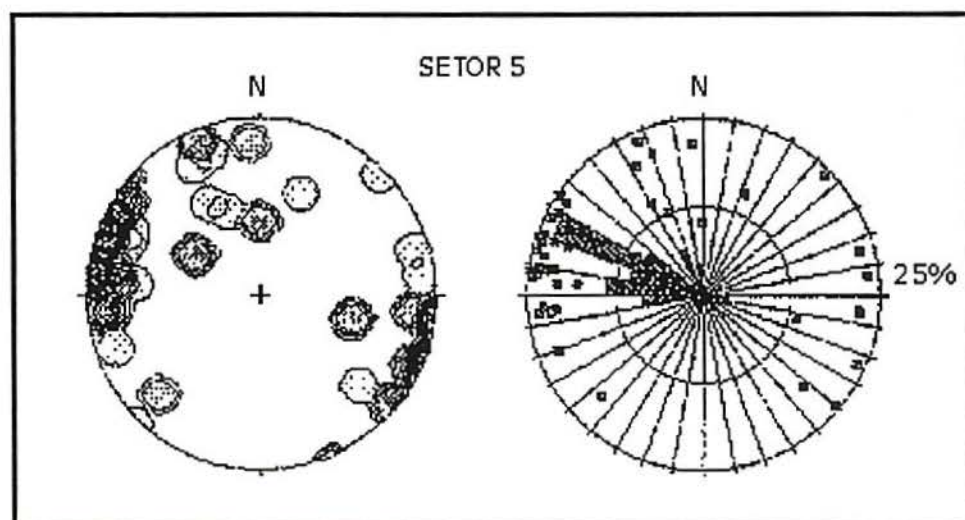


Figura 8.5 - Estereograma e diagrama de rosetas dos pólos das descontinuidades registradas no Setor 5, Nível 102.

SETOR 6 - Situado no Acesso, entre os 47,0 m e os 61,0 m. Este setor apresenta como litologia predominante monzogranito de granulação grosseira.

No setor 6, as discontinuidades apresentam mergulhos altos e direção perpendicular à direção do eixo do acesso. As condições encontradas neste setor e sua avaliação são apresentadas na Tabela 8.6.

Tabela 8.6 - Avaliação dos parâmetros de classificação do Sistema RMR no Setor 6.

SETOR 6 - Acesso 102		
PARÂMETRO	CONDIÇÃO/ AVALIAÇÃO	PONTUAÇÃO
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)	31,3	4
RQD (%)	85	17
Espaçamento das discontinuidades (m)	0,15	7
Condições das discontinuidades	2	25
Água subterrânea	2	10
Ajuste direção e mergulho das juntas: Perpendicular, mergulhos altos	muito favorável	0
Classificação	rocha boa	II
RMR		63

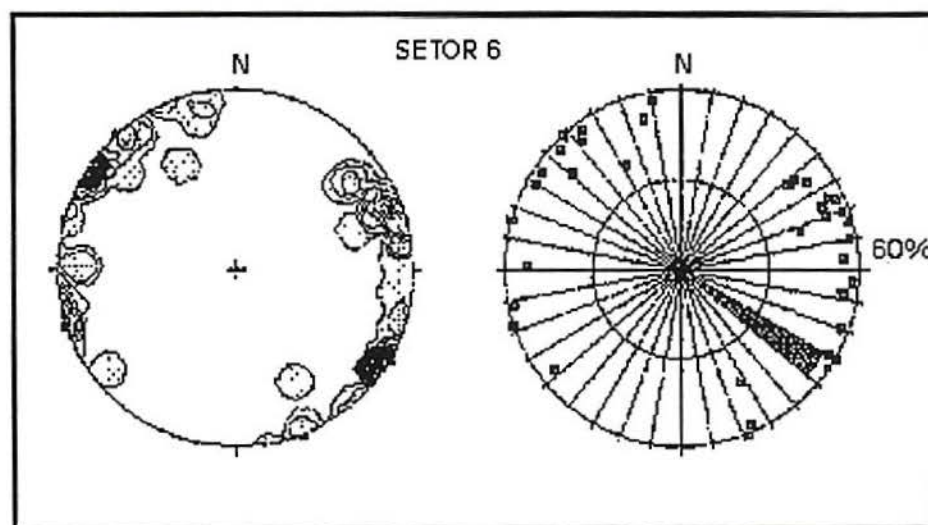


Figura 8.6 - Estereograma e diagrama de rosetas dos pólos das discontinuidades registradas no Setor 6, Nível 102.

SETOR 7 - Situado principalmente ao longo da Cabeceira 102 S1, com extensão de 51,8 m de maciço, este setor é constituído litologicamente por quartzodiorito. As condições encontradas neste setor e sua avaliação são apresentadas na Tabela 8.7.

Tabela 8.7 - Avaliação dos parâmetros de classificação do Sistema RMR no Setor 7.

SETOR 7 - Cabeceira 102 S1		
PARÂMETRO	CONDIÇÃO/ AVALIAÇÃO	PONTUAÇÃO
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)	101,5	10
RQD (%)	97	20
Espaçamento das descontinuidades (m)	0,37	9
Condições das descontinuidades	3	20
Água subterrânea	4	4
Ajuste direção e mergulho das juntas: Paralela, mergulhos altos	muito desfavorável	-12
Classificação RMR	rocha regular	III 51

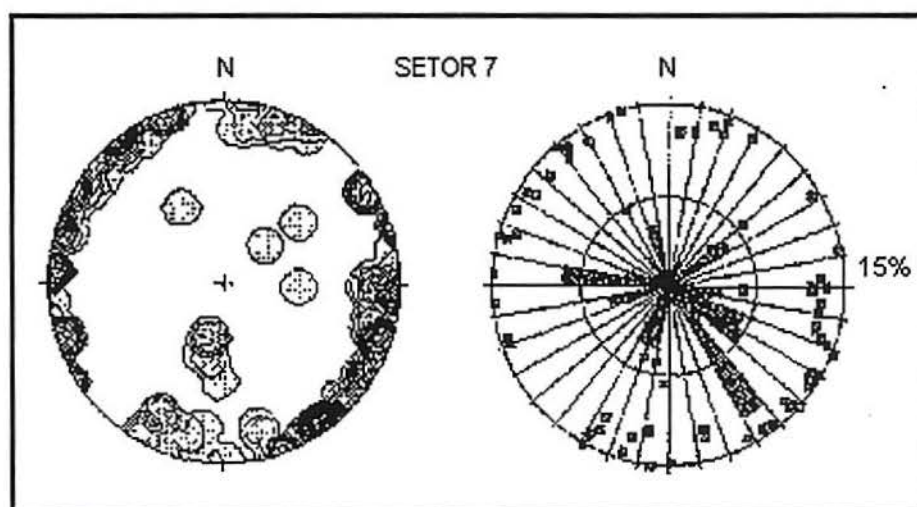


Figura 8.7 - Estereograma e diagrama de rosetas dos pólos das descontinuidades registradas no Setor 7, Nível 102.

Na planta 8.1 apresentada em continuação, foi representada a segmentação do maciço rochoso e a classificação geomecânica do Nível 102.

8.4 CORRELAÇÕES

O sistema de classificação RMR tem sido aplicado continuamente em projetos de engenharia de vários países do mundo, Bieniawski (1989) relaciona 351 casos, incluindo trabalhos em túneis, fundações, taludes e minas. A disponibilidade destas informações propiciou que fossem desenvolvidas correlações entre a avaliação RMR e fatores relacionados com a estabilidade de escavações subterrâneas, como o dimensionamento do escoramento, o módulo de deformação estática, a resistência da rocha e inclusive outros sistemas de classificação.

8.4.1 Carregamento sobre o escoramento

O carregamento sofrido pelo escoramento determinado a partir do sistema RMR foi proposto por Unal (in Bieniawski, 1989):

$$P = \frac{100 - \text{RMR}}{100} \cdot d \cdot B \quad [8.1]$$

onde:

P= carregamento sobre o escoramento, em kN,

B= largura do túnel, m,

d= densidade da rocha, kg/m³

Na mina Rio dos Bugres, o carregamento máximo sobre o escoramento calculado com esta relação é de 4587 kN, para esta estimativa foi considerando o RMR mínimo obtido, 51, largura da galeria de 3,0 metros e uma densidade máxima da rocha de $3,12 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ (Anexo C).

8.4.2 Módulo de deformação ou módulo de Young

No caso das fundações de rocha, o sistema RMR proporciona a estimativa do módulo de deformação do maciço, Bieniawski (1989) apresenta a seguinte relação:

$$E_M = 2 \text{ RMR} - 100 \quad [8.2]$$

onde E_M é o módulo de deformação em GPa e o $RMR > 50$.

Serafim e Pereira (in Bieniawski, 1989) apresentaram resultados que possibilitariam a obtenção do E_M para valores do $RMR < 50$, a correlação é a seguinte:

$$E_M = 10^{(RMR-10)/40} \quad [8.3]$$

No caso da mina Rio dos Bugres, o módulo de deformação calculado por este método está situado entre 2 e 34 GPa.

8.4.3 Tempo de sustentação

Bieniawski (1973, 1989) relacionou graficamente a avaliação RMR do maciço (score final total) com o tempo de auto-sustentação; esta relação é mostrada na Figura 8.8.

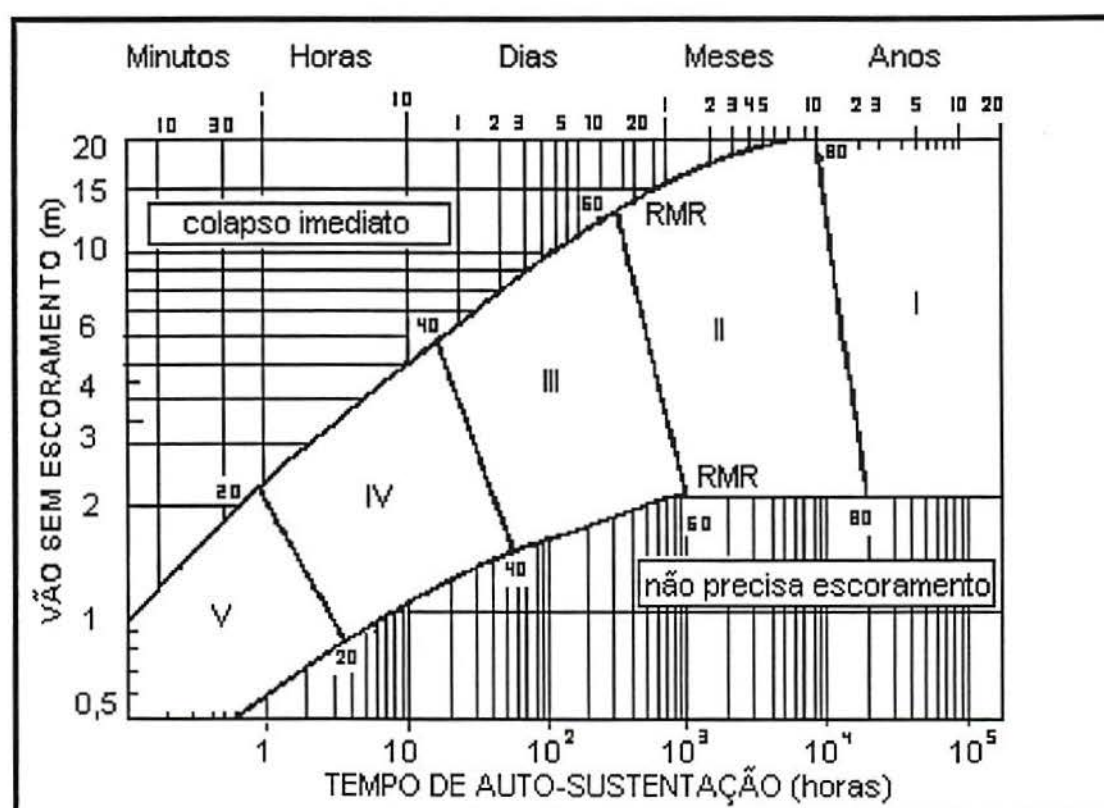


Figura 8.8 - Relação entre o tempo de auto-sustentação e o vão livre para várias classes de maciços rochosos. Fonte: Bieniawski, 1989.

8.4.4 Resistência da rocha

Hoek e Brown (in Bieniawski, 1989) propõem um método para estimar a resistência de um maciço rochoso fundamentado no sistema RMR, o critério é o seguinte:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_c} = \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + \sqrt{m \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s} \quad [8.4]$$

onde:

σ_1 = tensão principal maior na ruptura,

σ_3 = tensão principal menor aplicada,

σ_c = resistência da rocha à compressão simples

m e s são constantes dependentes das propriedades da rocha e da extensão do seu fraturamento devido às tensões σ_1 e σ_3 .

Para rocha intacta $m = m_i$, esta constante é determinada a partir do ajuste da equação [8.4] para resultados de ensaios triaxiais realizados em laboratório, considerando-se $s=1$. Segundo Hoek e Brown, (in Bieniawski, 1989) para maciços rochosos as constantes m e s podem ser estimadas através do valor RMR não ajustado, da seguinte forma:

- para maciços rochosos não perturbados (p. ex. rocha escavada cuidadosamente a fogo ou por máquina):

$$m = m_i \exp \{ (RMR-100)/28 \} \quad [8.5]$$

$$s = \exp \{ (RMR-100)/9 \} \quad [8.6]$$

- para maciços rochosos perturbados (p. ex. taludes e rochas afetadas por detonações):

$$m = m_i \exp \{ (RMR-100/14) \} \quad [8.7]$$

$$s = \exp \{ (RMR-100/6) \} \quad [8.8]$$

Stille et al. (in Bieniawski, 1989) apontam uma correlação entre o RMR e a resistência à compressão uniaxial da rocha, esta correlação foi obtida a partir do estudo de casos desenvolvidos através do método dos elementos finitos e trabalhos diversos na Suécia. Este autores sugerem a seguinte relação:

RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
RCU (MPa)	30	12	5	2,5	0,5

8.4.5 Correlação com outros sistemas de classificação

Fundamentados em 111 casos históricos, Bieniawski (1989) apresenta correlação entre o RMR e o sistema Q de Barton, Lien e Lunde (Barton; et al., 1974) a relação para túneis de obras civis é:

$$\text{RMR} = 9 \ln Q + 44 \quad [8.9]$$

Para aberturas em mineração, Abad et al. (In Bieniawski, 1989) obteve a seguinte relação:

$$\text{RMR} = 10,5 \ln Q + 42 \quad [8.10]$$

8.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise da base de dados de aplicação do sistema RMR em 351 casos de todo o mundo, (Bieniawski, 1989) foi possível obter algumas informações relacionadas com a aplicabilidade deste sistema:

- dos 351 casos registrados, aproximadamente 60% foram desenvolvidos em rochas sedimentares, principalmente folhelhos e argilitos, 15% foram realizados em arenitos, 10% em granitos e são menos de 10 os casos em que o sistema foi desenvolvido em brechas.
- aproximadamente 2/3 de todos os casos compreendem valores do RMR entre 41 e 70;
- uma proporção semelhante destas escavações está situada predominantemente entre 50 e 200 metros de profundidade e registra vão livre variando entre 3 e 10 metros.

Tendo em vista as informações anteriores, os valores do RMR obtidos na mina Rio dos Bugres situam a mina no grupo de maior ocorrência entre todos os casos de utilização deste sistema de classificação.

Por outra parte, Bieniawski (1989) ressalta que os resultados obtidos através do sistema RMR tendem a ser conservadores, devido principalmente, ao fato de o sistema ter sido calibrado em casos em que o maciço rochoso apresenta boa qualidade; fator que pode ocasionar o super-dimensionamento do sistema de escoramento.

Finalmente, deve-se ressaltar que os sistemas de classificação geomecânica não devem ser considerados como substitutos para o projeto de engenharia. Bieniawski (1989) considera que na sua concepção original, a classificação geomecânica, realizada através de qualquer sistema, está inserida dentro da metodologia empírica de abordar um projeto de engenharia, que junto com a observacional e a analítica formam as três metodologias possíveis de abordagem.

9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

9.1 CONCLUSÕES

Os estudos desenvolvidos sobre setores do maciço rochoso na Mina Rio dos Bugres, permitiram obter as seguintes conclusões:

1- Sobre a orientação das descontinuidades geoestruturais:

No setor estudado, as descontinuidades apresentam direção principalmente compreendida entre N e N70E, com os mergulhos dirigidos tanto para NW como para SE, em proporções aproximadamente equivalentes. Estes mergulhos podem ser considerados como sendo altos, uma vez que os grupos mais numerosos são os situados acima dos 80°, exceto nos registrados nos Níveis 18 e 60, nos quais o intervalo mais abundante é aquele compreendendo valores entre 70° e 80°.

2- Sobre o RQD obtido para testemunhos de sondagem:

Foram avaliadas vinte sondagens, sendo que, seguindo classificação de Deere (in Bieniawski, 1989), as rochas amostradas receberam a seguinte avaliação qualitativa:

uma (01) como "muito ruim",
doze (12) como "ruins",
seis (06) como "regulares", e
uma (01) como "boa".

As litologias amostradas correspondem, na sua maioria, a granitóides e arenitos.

Deve-se sublinhar, entretanto, que os dados provenientes dos testemunhos de sondagem foram obtidos vários anos depois da sua execução, podendo apresentar diferenças em relação às condições originais do maciço amostrado.

3- Sobre o espaçamento entre descontinuidades geoestruturais:

Nos setores estudados, os diagramas de distribuição de probabilidade dos valores do espaçamento entre descontinuidades mostram comportamento semelhante ao descrito por Priest e Hudson (1976); estudo no qual concluem que os valores dos espaçamentos seguem uma distribuição de probabilidade passível de ser descrita através de uma função exponencial negativa, do tipo:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$$

onde $\lambda = 1/\text{média do espaçamento entre descontinuidades adjacentes}$.

Esta característica das descontinuidades admitiu a possibilidade da obtenção do parâmetro RQD a partir de uma relação matemática, na qual foram utilizados os resultados obtidos no levantamento estrutural.

Por outra parte, nos setores estudados foi registrada uma proporção variável de espaçamentos com valores inferiores aos 10 centímetros. Esta proporção é de 16% no Nível 18, 23% no Nível 60, 55% nos Níveis 102 e 152 e de 65% no Nível 223. Esta circunstância pode indicar que o grau de fraturamento do maciço aumenta com a profundidade.

4- Sobre o RQD obtido a partir de relação matemática:

Nos setores mapeados na Mina Rio dos Bugres foram obtidos valores do RQD através de relação matemática, esta relação foi utilizada quando se constatou que os valores do espaçamento entre descontinuidades, agrupados para cada nível observado, seguem uma distribuição de probabilidade que pode ser descrita através de uma função do tipo exponencial negativa.

Aceitando-se esta possibilidade, a obtenção do RQD a partir da relação matemática possibilitou avaliar a acuracidade dos resultados, sendo necessário para isso a aplicação de procedimento estatístico fundamentado no teorema do limite central.

Desta forma, foram obtidos valores do RQD teórico para os quinze setores levantados na mina, três para cada nível, permitindo classificar a qualidade das rochas como “boa” para os acessos dos níveis mais profundos, 102, 152 e 223; enquanto que os outros setores apresentariam qualidade “excelente”.

Deve-se levar em consideração que o RQD obtido desta forma tende a descrever a situação média do setor, sendo pequena a possibilidade do registro de condições de fraturamento extremas através deste método.

Foram obtidos também valores de RQD para comprimentos não fraturados superiores aos vinte centímetros, com este novo comprimento, as rochas dos Acessos 102, 152 e 223 passam a ser classificadas como de qualidade “regular”, e as Cabeceiras S1 e S2 do Nível 102 seriam classificadas como de “boa qualidade”. Com este parâmetro comparativo, e observando que os outros setores são considerados como de “qualidade excelente”, o Nível 102 se apresenta como o mais fraturado entre os cinco existentes.

Finalmente, foram obtidas equações lineares para representar a relação entre o RQDT e a frequência de descontinuidades λ , existente nos setores mapeados da mina. A obtenção destas equações esteve fundamentada na avaliação estatística dos dados, efetuada através do cálculo dos intervalos de confiança e estimativa do erro do cálculo da média do espaçamento entre descontinuidades, fatores relacionados com o número de descontinuidades medidas no campo. Estas equações apresentam semelhança quando comparadas com a equação [3.3] obtida por Priest e Hudson, e [3.4] obtida pela ISRM.

5- Sobre os diagramas representando a densidade de fraturamento:

Estes diagramas mostram que, entre os setores mapeados, aqueles pertencentes aos níveis 18 e 152 são os que numericamente apresentam menor intensidade de fraturamento, enquanto que os setores situados nos níveis 60, 102 e 223 apresentam intensidades mais altas. Nos mesmos diagramas também pode-se observar que a estrutura portadora do Filão 1 apresenta-se, em média, mais intensamente fraturada do que aquela do Filão 2.

Finalmente, e considerando que informações referentes ao espaçamento entre descontinuidades são tradicionalmente pouco utilizadas, os diagramas representando a densidade linear de fraturamento constituem uma alternativa para o aproveitamento destes dados, uma vez que este parâmetro pode ser usado como comparativo da intensidade de fraturamento registrada em setores diversos do maciço.

6- Sobre a classificação geomecânica:

Com relação à classificação geomecânica desenvolvida pelo sistema RMR em setores da Mina Rio dos Bugres, pode-se concluir que:

- No Nível 102 foram identificados sete setores nos quais os parâmetros de classificação receberam avaliação diferente, a identificação esteve fundamentada nas características litológicas e estruturais locais.
- Dos sete setores em que o Nível 102 foi segmentado, quatro apresentam maciço rochoso de qualidade “boa” e três setores de qualidade “regular”.
- Os setores situados dentro e nas proximidades das estruturas filonianas 1 e 2 receberam avaliação de qualidade “regular”. Os setores do maciço situados entre os filões apresentam qualidade “boa”.
- Os setores que apresentam qualidade de rocha “regular” apresentariam, segundo o sistema de classificação, tempo de auto-sustentação de uma semana para vão de 5m, coesão das rochas do maciço situada entre 200 e 300 kPa e ângulo de atrito interno da rocha entre 25° e 35°.
- Da mesma forma, os setores que apresentam qualidade de rocha “boa” apresentariam tempo de auto-sustentação de um ano para vão de 10m, coesão das rochas do maciço situada entre 300 e 400 kPa e ângulo de atrito interno da rocha entre 35° e 45°.

9.2 RECOMENDAÇÕES

A realização de levantamentos geológicos e estruturais efetuados durante, ou mesmo depois, de finalizada a fase de abertura dos acessos principais, constitui um procedimento capaz de fornecer importantes informações de interesse para o andamento de um projeto mineiro ou civil.

Um dos exemplos sobre a questão antes mencionada é constituído pelo espaçamento entre descontinuidades, característica importante dos maciços rochosos, que tradicionalmente tem recebido pouca atenção nos trabalhos desenvolvidos em mineração. A obtenção de informações tendo como base dados relacionadas com o espaçamento entre descontinuidades constitui um procedimento que pode ser adotado dentro das atividades de abertura de frentes subterrâneas, uma vez que possibilita a obtenção de uma variedade de informações úteis, tanto para o projeto como para a execução de escavações.

A decisão sobre o tipo de informações que devem ser obtidas depende em grande parte das características do projeto em questão, mas cabe aos profissionais encarregados destas atividades procurar formas de extrair a maior quantidade possível delas, com o menor consumo de tempo e recursos. De preferência a obtenção destas informações deve ser realizada a partir de levantamentos nos quais seja possível aplicar métodos estatísticos e probabilísticos que permitam avaliar de forma objetiva a qualidade dos dados.

Neste contexto, a execução de classificações geomecânicas apresenta-se como uma das opções mais interessantes, uma vez que constitui um sistema de obtenção, organização e integração de informações que apresenta tanto vantagens quanto limitações. Embora uma classificação geomecânica não permita obter o pleno conhecimento de um maciço rochoso, ela pode fornecer informações de grande importância para o desenvolvimento do projeto, principalmente se associada com campanhas de monitoramento do comportamento do maciço e execução de ensaios de laboratório, entre outras.

A aplicação do sistema de classificação RMR em setores da mina Rio dos Bugres mostra que algumas modificações tendentes a implementar o sistema de forma mais vantajosa podem ser efetuadas. As possíveis modificações estão relacionadas com os seguintes parâmetros de avaliação do maciço:

- **Resistência à compressão uniaxial:** considerando que ensaios em laboratório oferecem dificuldades de vários tipos, o uso de ensaios de carga de ponta *in loco* podem constituir uma alternativa, devido principalmente a sua economia e

simplicidade, o que conduziria finalmente a um incremento significativo no número de amostras ensaiadas.

- **RQD, espaçamento e condições das descontinuidades:** estes parâmetros podem ser estimados de forma mais confiável durante o levantamento através da *scanline*, sendo para isso necessário o registro cuidadoso das condições encontradas. Recomenda-se o uso de métodos estatísticos para avaliar a qualidade da descrição através destes parâmetros, especialmente considerando que sua avaliação é responsável por até 70% do RMR final.
- **Ajuste devido à orientação das descontinuidades:** esta operação pode ser realizada através da combinação de vários métodos, entre eles: mapeamentos de detalhe, a análise das possíveis condições de ruptura do maciço através de estereogramas e a influência dos outros parâmetros antes mencionados.

Neste contexto, as seguintes atividades podem ser realizadas na mina Rio dos Bugres:

- Monitoramento das condições geomecânicas do maciço no Nível 102, visando calibrar e ajustar a classificação efetuada.
- Extensão da classificação geomecânica para outros setores da mina julgados de interesse.
- Execução de campanhas de observação das características relacionadas com tensões e/ou deformações do maciço rochoso, subsidiárias para o estabelecimento de modelos, tanto geológicos quanto numéricos para estas propriedades. A disponibilidade atual de *software* e *hardware* necessário para estas aplicações permitiria obter maior aproveitamento de informações anteriormente pouco aproveitadas.

A integração das informações obtidas poderia então conduzir ao estabelecimento de modelos fundamentados nas características geológicas, geomecânicas e operacionais da mina, envolvendo inclusive o método de lavra utilizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. **Métodos para descrição quantitativa de descontinuidades em maciços rochosos**. São Paulo, ABGE, 1983. 132 p. (Caderno Técnico).
- 2- BAECHER, G. B. ; LANNEY, N. A. Trace length biases in joint surveys. In: U.S. SYMPOSIUM ON ROCK MECHANICS, 19., 1978, Reno: **Proceedings...** Reno: Mackay School of Mines, 1978. p. 56-65.
- 3- BARTON, N. ; LIEN, R.; LUNDE, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. **Rock Mechanics**, Wien: v.6, p.189-236, 1974.
- 4- BASTOS NETO, A.C. **Le district a fluorine de Santa Catarina (Bresil): mineralisations et alterations hydrothermales dans leur cadre geodynamique**. Orleans, 1990. 420p. Tese de Doutorado, Université D'Orleans.
- 5- BRADY, B. H. G. ; BROWN, E. T. **Rock mechanics for underground mining**. London: George Allen & Unwin, 1985. 527p.
- 6- BIENIAWSKI, Z. T. Geomechanics classification of rock masses and its application in tunnelling. **Proceedings...** INTERNATIONAL CONGRESS ON ROCK MECHANICS, 3., Denver, Vol 2A, p 27-32, 1974.
- 7- BIENIAWSKI, Z. T. **Rock mechanics design in mining and tunneling**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1984. 272 p.
- 8- BIENIAWSKI, Z. T. **Engineering rock mass classifications**. New York: John Wiley, 1989. 251p.
- 9- CASTRO-CAICEDO, A. J. Aspectos relacionados com a determinação e uso do RQD na descrição de maciços rochosos através do método da *scanline*. **EGATEA**, Revista da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, v. 22 n. 2, p.27-32, jul.-dez. 1994.
- 10- COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO. **Plantas geológicas dos níveis da mina Rio dos Bugres**. Rio Fortuna, 1983. Escala 1:250.

- 11- CRUDEN, S. M. Describing the size of discontinuities. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, Oxford: v. 12, p.133-137, 1977.
- 12- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. **Texto explicativo do mapa geológico do estado de Santa Catarina**. Florianópolis, 1987.
- 13- DEERE, D. U. Technical description of rock cores for engineering purposes. **Rock Mechanics and Engineering Geology**, v. 7, n. 7, p. 16-22, 1963.
- 14- DERSHOWITZ, W. S. ; EINSTEIN, H.H. Characterizing rock joint geometry with joint system models. **Rock Mechanics and Rock Engineering**. Wien: Springer-Verlag, v. 21, p.21-51, 1988.
- 15- EINSTEIN, H. H. ; BAECHER G.B. Probabilistic and statistical methods in engineering geology. I Problem statement and introduction to solution. **Rock Mechanics, Suppl.** Wien: Springer-Verlag, v. 12, 47-61, 1982. Suplemento.
- 16- EINSTEIN, H. H. ; BAECHER, G. B. Probabilistic and statistical methods in engineering geology. Specific methods and examples. Part I: Exploration. **Rock Mechanics and Rock Engineering**, Wien: Springer-Verlag, v. 16, p.39-72,1983.
- 17- ELSAYED, E. ; SEN, Z. Probabilistic simulation of rock quality designation (RQD). **Bulletin of the international association of engineering geology**, n. 43, p.31-40, 1991.
- 18- FERREIRA, A. C. **Relatório de Pesquisa na área da Mina Rio dos Bugres**. Criciúma: Mineração Santa Catarina, 1982.
- 19- FRAGOSO CESAR A. O cráton do Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no escudo Sul-Riograndense. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Camboriú. **Anais...** Florianópolis: SBG, 1980. v.5, p. 2879-2890.
- 20- GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for Windows**, user's guide., Inc. Golden, Colorado, USA. 1994.

- 21- GOODMAN, R. E. ; SMITH, H. R. RQD and fracture spacing. **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, New York, ASCE, , v. 106, p. 191-193, Feb. 1980.
- 22- HADJIGEORGIOU, J. et al. An appraisal of structural mapping techniques. In: **Mechanics of Jointed and Faulted Rock**, Rossmanith (ed), 1995, Rotterdam, Balkema. p. 193-199.
- 23- HARTMAN H. L. **SME Mining Engineering Handbook**. 2nd. edition. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, 1992. 2260 p.
- 24- HASUI, Y. ; MIOTO, J. A. **Geologia estrutural aplicada**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, 1992. 459 p.
- 25- HOEK, E. ; BROWN, E. T. **Excavaciones subterráneas en roca**. México: McGraw-Hill, 1985. 634 p.
- 26- HORBACH, R. MARIMON, R. G. Esboço da evolução tectônica e seu significado na gênese dos depósitos de fluorita do sudeste catarinense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú. **Anais...** Florianópolis: SBG, 1980. v.3, p. 1540-1551.
- 27- HUDSON, J. A. ; PRIEST, S. D. Discontinuities and rock mass geometry. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**. Oxford: Pergamon Press, v. 16, p. 339-362, 1979.
- 28- IBARRA, J. Classificaciones geomecánicas e ingenieriles de macizos rocosos. **III CURSO DE INTERNACIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA APLICADA A OBRAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS**, 3.,1991. Ciudad de Mexico: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autonoma de México, 1991.
- 29- INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS. Commission of standarization of laboratory and field tests. Suggested methods for the quantitative description of descontinuities in rock masses. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**. Oxford: Pergamon Press., v. 15, p. 319-368, 1978.

- 30- INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS. Commission on Rock Failure Mechanisms in Underground Openings. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**. Oxford: Pergamon Press., v. 29, n. 4, p. 421-446, 1992.
- 31- KAZI, A. ; SEN, Z. Volumetric RQD: An index of rock quality. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FUNDAMENTALS OF ROCK JOINTS, 1985. **Proceedings...** Björkliden: Luleå University of Technology, Sweden. 1985. p. 95-101.
- 32- KULATILAKE, P.H. ; WU, T.H. Estimation of mean trace length of discontinuities, **Rock Mechanics and Rock Engineering**. Wien: Springer-Verlag, v.17, p.215-232, 1984.
- 33- KULATILAKE, P. H. ; WU, T. H. Sampling bias on orientation of discontinuities. **Rock Mechanics and Rock Engineering**. Wien: Springer-Verlag, v. 17, p.243-253, 1984.
- 34- KULHAWY F. H. Geomechanical model for rock foundation settlement. **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, New York, ASCE, v. 104, p. 211-227, Feb. 1978.
- 35- LOPES, J. H. Investigações geológicas y geotecnicas de los tuneles de la central hidroelectrica de Calima III - Colombia. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO DE MECÂNICA DE ROCHAS, 2., 1986, Porto Alegre. **Anais...** v.2, p.261-271.
- 36- NAGEL, K. H. ; THOMAS, A. Tunnel alignment for the cortaderal hydroelectric scheme, Chile. **Bulletin of the International Association Of Engineering Geology**, n. 39, p. 111-120, 1989.
- 37- NAGEL, K. H. Limits of the geological predictions constructing te Samanalawewa pressure tunnel, Sri Lanka. **Bulletin of the International Association Of Engineering Geology**, n. 45, p. 97-110, 1992.
- 38- NIEBLE, C. A. FRANCIS A. Classificação de maciços rochosos. In: Congresso brasileiro de Geologia de Engenharia, I., 1976, Rio de Janeiro. **Anais...** v. 2, p.379-395.

- 39- OJIMA, L. M. **Metodologia de classificação de maciços rochosos aplicável a túneis**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1982. 100 p. Caderno Técnico.
- 40- PAHL, P. J. Estimating the mean length of discontinuity traces. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**. Oxford: Pergamon Press Ltd., v. 18, p. 221-228, 1981.
- 41- PALMSTRØM, A. The volumetric joint count -a useful and simple measure of the degree of rock mass jointing. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, 4, 1982, New Delhi. **Proceedings...** New Delhi: 1982. v. 5, p. V221-V228.
- 42- POHN, H. A. Joint spacing as a method of locating faults. **Geology**, v.9, p.258-261, June 1981.
- 43- PRIEST, S. D. **Discontinuity analysis for rock engineering**. London: Chapman & Hall, 1993. 473 p.
- 44- PRIEST, S. D. ; HUDSON, J. A. Discontinuity spacings in rock. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**. Oxford: Pergamon Press Ltd., v. 13, p. 135-148, 1976.
- 45- PRIEST, S. D. ; HUDSON, J. A. Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**. Oxford: Pergamon Press Ltd., v. 18, p. 183-197, 1981.
- 46- SANTOS, J. L. dos. **Descrição geotécnica de perfis de sondagem**. Mineração Santa Catarina, 1982. documento interno.
- 47- SEN, Z. RQD models and fracture spacing. **Journal of the Geotechnical Engineering**, New York, ASCE, v. 110, n. 2, p. 203-217, Feb. 1984.
- 48- SEN, Z. ; KAZI, A. Discontinuity spacing and RQD estimates from finite length scanlines. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**. Oxford: Pergamon Press Ltd., v. 21, n.4, p. 203-212, 1984.

- 49- SEN, Z. RQD, RQR and fracture spacing. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**. Oxford: Pergamon Press Ltd., v. 27, n.2, p. 135-137, 1990.
- 50- SEN. Z. ; EISSA, E. A. Volumetric rock quality designation. **Journal of the Geotechnical Engineering**, New York, ASCE, v. 117, n. 9, p. 1331-1347, Sept. 1991.
- 51- SILVEIRA, A.F. da *et al.* Quantitative characterization of the geometric parameters of jointing in rock masses. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS, 1., 1966, Lisbon. **Proceedings**. Lisbon: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1966. v.1, p.225-233.
- 52- SPIEGEL, M. R. **Estatística**. São Paulo: McGraw-Hill, 1979. 580p.
- 53- TERZAGHI, R. Sources of error in joint surveys. **Geotechnique**. v. 15, p.287-304, 1965.
- 54- TOGNON, A. A. **Glossário de termos técnicos de geologia de engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1985. 139 p.
- 55- WALLIS, P.F. KING M.S. Discontinuity spacings in a cristalline rock. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**. Oxford: Pergamon Press, v. 17, p. 63-66. 1980.
- 56- WHEELER R. ; DIXON J. Intensity of systematic joints: methods and application. **Geology**, v. 8, p. 230-233, May 1980.
- 57- XING Z. ; GOUHUA L. Estimation of confidence bounds for mean trace length of discontinuities using scanline surveys. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**. Oxford: Pergamon Press, v. 27, n. 3, p.207-212, 1990. Technical Note.
- 58- ZANBANK, C. Statistical interpretation of discontinuity contour diagrams. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**. Oxford: Pergamon Press, v. 14, p. 111-120, 1977.

ANEXOS

ANEXO A-1

PLANILHA DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL							
NÍVEL: 18		LOCAL : ACESSO 18					
ORIENTAÇÃO DA FACE : 294/90							
ORIENTAÇÃO DA SCANLINE : 294							
OBSERVAÇÕES :		Início: ponto topográfico: 3					
LITOLOGIA PRINCIPAL: arenitos							
SENTIDO : S1-S2		ALTURA SCANLINE : 1,4 m					
	DISTÂNCIA (m)	TRECHO (m)	No. DESCS.	ESPAÇA- MENTO (m)	DIR MERG (°)	MERG (°)	OBSERVAÇÕES
1	4.07		1	.77	30	74	FILÃO CaF ₂
2	4.84		1	.16	297	63	FILÃO CaF ₂
3	5.00		1	.30	102	48	FILÃO CaF ₂
4	5.30		1	.35	294	82	FILÃO CaF ₂
5	5.65		1	.05	308	73	FILÃO CaF ₂
6	5.70		1	.23	306	78	FILÃO CaF ₂
7	5.93		1	.27	120	67	
8	6.20		1	.08	298	75	
9	6.28		1	.02	180	60	
10	6.30		1	.05	294	85	
11	6.35		1	.05	176	80	
12	6.88		1	.53	302	86	
13	7.00		1	.10	120	83	
14	7.10		1	.30	46	80	
15	7.40		1	.60	184	85	
16	8.00		1	.12	134	80	
17	8.12		1	.22	108	80	ZONA CATACLASADA
18	8.34		1	.06	306	80	ZONA CATACLASADA
19	8.40		1	.20	126	86	
20	8.60		1	.14	132	66	
21	8.74		1	.02	300	85	
22	8.76		1	.34	118	80	
23	9.10		1	.06	294	68	
24	9.16		1	.14	328	76	FILÃO CaF ₂
25	9.30		1	.30	294	68	FILÃO CaF ₂
26	9.60		1	.40	280	82	FILÃO CaF ₂
27	10.00		1	.40	290	80	FILÃO CaF ₂
28	10.40		1	.05	124	75	FILÃO CaF ₂
29	10.45		1	.05	300	85	FILÃO CaF ₂
30	10.50		1	.90	320	80	FILÃO CaF ₂
31	11.40		1	.60	78	62	FILÃO CaF ₂
32	12.00		1	.20	256	76	FILÃO CaF ₂
33	12.20		1	.70	138	80	FILÃO CaF ₂
34	12.90		1	.60	87	80	
35	13.50		1	.15	316	74	
36	13.65		1	.15	292	60	
37	13.80		1	1.20	320	86	
38	15.00		1	.30	313	82	
39	15.30		1	.30	142	84	
40	15.60		1	.15	310	89	
41	15.75		1	.70	132	65	
42	16.45		1	.15	152	66	
43	16.60		1	1.00	140	78	
44	17.60		1	.90	116	67	

45	18.50		1	.50	320	75	
46	19.00		1	.60	132	85	
47	19.60		1	.80	120	70	
48	20.40		1	.30	72	86	
49	20.70		1	.05	248	67	
50	20.75		1	.75	137	80	
51	21.50		1	.30	300	82	
52	21.80		1	.60	312	80	
53	22.40		1	.60	334	85	
54	23.00		1	.45	152	65	
55	23.45		1	.90	286	80	
56	24.35		1	2.90	300	85	
57	27.25		1	.85	316	65	
58	28.10		1	.15	140	88	
59	28.25		1	1.75	88	88	
60	30.00		1	1.45	122	85	
61	31.45		1	.55	90	25	
62	32.00		1	1.80	100	80	
63	33.80		1	1.20	134	70	
64	35.00		1	1.05	126	83	
65	36.05		1	1.30	96	80	
66	37.35		1	1.65	284	88	
67	39.00		1	.05	308	84	
68	39.05		1	1.95	116	88	
69	41.00		1	.75	122	86	
70	41.75		1	1.35	304	75	
71	43.10		1	.40	310	85	
72	43.55		1	.45	323	70	
73	44.00		1	.30	315	80	
74	44.30		1	.40	236	25	
75	44.70		1	.15	118	80	
76	44.85		1	.30	118	55	
77	45.15		1	2.55	130	75	
78	47.70		1	.60	136	87	
79	48.30		1	.25	98	83	
80	48.55		1	.30	133	85	
81	48.85		1	.90	137	72	
82	49.75		1	.29	320	89	
83	50.04		1	.04	139	83	
84	50.09		1	1.01	326	82	
85	51.10		1	.15	196	20	
86	51.25		1	3.15	304	75	
87	54.40		1	.50	127	81	
88	54.90		1	.40	296	89	
89	55.30		1	.80	98	80	
90	56.10		1	.40	130	82	
91	56.50	56.80	2	.30	120	83	ZONA CATACLASADA
92	56.80		1	.30	120	83	ZONA CATACLASADA
93	57.10	57.40	2	.30	120	83	ZONA CATACLASADA
94	57.40		1	.20	120	83	ZONA CATACLASADA
95	57.60		1	.55	136	84	
96	58.15	58.55	2	.20	321	76	
97	58.55		1	.45	321	76	
98	59.00	62.50	2	1.75	297	41	
99	62.50		1	.10	297	41	
100	62.60		1	.50	131	80	
101	63.10		1	.60	127	73	
102	63.70		1	1.40	91	57	

103	65.10		1	.30	151	77	
104	65.40	67.00	2	.80	162	67	
105	67.00		1	.10	162	67	
106	67.10		1	.40	139	74	
107	67.50		1	.90	78	70	
108	68.40		1	1.05	138	71	
109	69.45		1	.05	171	74	
110	69.50		1	2.40	159	76	
111	71.90		1	3.20	142	80	
112	75.10		1	1.35	98	78	
113	76.45		1	2.95	319	84	
114	79.40		1	.30	138	81	
115	79.70		1	1.00	273	88	
116	80.70		1	2.00	279	80	
117	82.70	82.90	2	.10	46	89	
118	82.90		1	1.30	46	89	
119	84.20		1	1.20	118	89	
120	85.40		1	.90	306	85	
121	86.30		1	.60	288	77	
122	86.90		1	.70	296	86	
123	87.60		1	.80	302	77	
124	88.40		1	1.30	308	81	
125	89.70		1		307	79	

ANEXO A-2 CABECEIRA 18 S1

PLANILHA DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL							
NÍVEL: 18		LOCAL : CABECEIRA 18 S1					
ORIENTAÇÃO DA FACE : 197/90							
ORIENTAÇÃO DA SCANLINE : 197							
OBSERVAÇÕES :		INÍCIO: ponto topográfico: 3					
LITOLOGIA PRINCIPAL: arenitos							
SENTIDO :		ALTURA SCANLINE : 1,2 m					
	DISTÂNCIA (m)	TRECHO (m)	No. DESCS.	ESPAÇA- MENTO (m)	DIR. MERG. (°)	MERG. (°)	OBSERVAÇÕES
1	.20		1	.90	325	72	FILÃO CaF ₂
2	1.10		1	2.25	323	79	FILÃO CaF ₂
3	3.35		1	2.15	279	89	FILÃO CaF ₂
4	5.50		1	.40	308	75	FILÃO CaF ₂
5	5.90		1	.30	42	86	FILÃO CaF ₂
6	6.80	7.20	2	.20	298	83	FILÃO CaF ₂
7	7.20		1	1.10	298	83	FILÃO CaF ₂
8	8.30		1	.15	331	78	FILÃO CaF ₂
9	8.45		1	.55	331	78	FILÃO CaF ₂
10	9.00		1	.70	295	82	FILÃO CaF ₂
11	9.70		1	.50	297	85	FILÃO CaF ₂
12	10.20		1	.30	132	86	FILÃO CaF ₂
13	10.50		1	.35	132	86	FILÃO CaF ₂
14	10.85		1	.30	238	77	FILÃO CaF ₂
15	11.15		1	.35	338	63	FILÃO CaF ₂
16	11.50		1	1.60	316	65	FILÃO CaF ₂
17	13.10		1	.01	304	81	ZONA CATACLASADA
18	14.60		1	.01	206	82	ZONA CATACLASADA
19	15.20	15.30	2	.05	302	66	
20	15.30		1	2.20	302	66	
21	17.50		1	1.60	146	76	
22	19.10		1	1.00	325	56	
23	20.10		1	1.00	308	77	
24	22.10	22.40	2	.15	312	78	FILÃO CaF ₂
25	22.40		1	.60	312	78	FILÃO CaF ₂
26	23.00		1	.60	286	75	FILÃO CaF ₂
27	23.60	24.70	2	.55	315	80	FILÃO CaF ₂
28	24.70		1	.50	315	80	FILÃO CaF ₂
29	25.20		1	.50	338	78	FILÃO CaF ₂
30	25.70		1	.50	11	81	FILÃO CaF ₂
31	26.20	26.40	3	.06	218	84	FILÃO CaF ₂
32	26.40		1	2.30	218	84	
33	28.70		1	2.10	58	77	FILÃO CaF ₂
34	30.80		1	.90	268	75	
35	31.70		1	1.50	344	80	
36	33.20		1	.30	342	75	
37	33.50		1	.10	252	85	
38	33.60		1	.80	332	45	
39	34.40		1	1.40	332	45	
40	35.80		1	1.60	314	75	
41	37.40		1	1.00	222	70	
42	38.40		1	1.50	270	70	
43	39.70		1	.80	274	55	
44	40.50		1	.45	278	60	
45	40.95	41.80	3	.28	336	60	

46	41.80		1	.60	336	60	
47	42.40	42.60	2	.10	340	65	
48	42.60		1	.50	340	65	
49	43.10		1	.40	330	60	
50	43.50		1	.20	156	75	
51	43.70		1	1.59	330	60	
52	45.29		1	.10	312	65	
53	45.30		1	.60	171	69	
54	45.90		1	.40	346	56	
55	46.30		1	.30	122	85	
56	46.60		1	.20	6	57	
57	46.80		1	.30	352	70	
58	47.10	47.30	2	.10	290	45	
59	47.30		1	.30	290	45	
60	47.60	49.25	5	.33	140	35	
61	49.25		1	.25	140	35	
62	49.50		1	.08	284	45	
63	49.58	50.20	2	.31	140	35	
64	50.20		1	3.60	140	35	
65	53.80		1	.20	286	75	
66	54.00		1	.30	192	54	
67	54.30		1	.90	188	58	
68	55.20		1	1.80	283	50	
69	57.00		1	1.60	190	85	
70	58.60		1	.60	285	75	
71	59.20		1	.50	285	75	
72	59.70		1		120	88	

ANEXO A-3 CABECEIRA 18 S2

PLANILHA DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL NÍVEL: 18 LOCAL : CABECEIRA 18 S2 ORIENTAÇÃO DA FACE : 219/90 ORIENTAÇÃO DA SCANLINE : 219 OBSERVAÇÕES : INÍCIO: ponto topográfico: 2 LITOLOGIA PRINCIPAL: arenitos SENTIDO : ALTURA SCANLINE : 1,2 m							
	DISTÂNCIA (m)	TRECHO (m)	No. DESCS.	ESPAÇA- MENTO (m)	DIR MERG (°)	MERG. (°)	OBSERVAÇÕES
1	.40		1	.50	183	76	
2	.90		1	1.20	56	78	
3	2.10		1	.80	216	20	
4	2.90		1	.20	71	82	
5	3.10	3.50	2	.20	22	31	
6	3.50		1	.90	22	31	
7	4.40	4.70	2	.15	276	75	
8	4.70		1	.30	276	75	
9	5.00		1	.60	158	47	
10	5.60		1	.50	309	71	
11	6.10		1	.20	55	83	
12	6.30	6.60	2	.15	306	65	
13	6.60		1	1.00	306	65	
14	7.60		1	.40	80	49	
15	8.00		1	.40	32	35	FILÃO CaF ₂
16	8.40		1	1.50	216	35	
17	9.90		1	.50	330	80	
18	10.4		1	.40	148	55	
19	10.8		1	.80	58	83	
20	11.6		1	.50	8	77	
21	12.1	12.3	2	.10	32	40	
22	12.3		1	2.10	32	40	
23	14.4		1	.50	8	84	
24	14.9		1	.80	12	82	
25	15.7		1	2.30	346	90	
26	18.0		1	.60	190	72	
27	18.6		1	.80	34	62	
28	19.8		1	.10	186	70	
29	19.9		1	.90	40	60	
30	20.8		1	1.00	77	57	
31	21.8		1	.70	10	87	
32	22.5		1	1.20	98	65	
33	23.7	24.8	4	.27	194	71	
34	24.8		1	1.10	194	71	
35	25.9	26.1	2	.06	140	80	
36	26.1		1	.90	140	80	
37	27.0		1	1.00	226	25	
38	28.0		1	.20	140	89	
39	28.2	29.0	4	.20	201	30	
40	29.0		1	3.10	201	30	
41	32.1		1	.90	24	77	
42	33.0		1	.50	140	80	
43	33.5		1	.50	356	30	
44	34.0	34.3	2	.15	19	80	
45	34.3		1	1.90	19	80	

46	36.2		1	1.30	354	82	
47	37.5		1	1.20	148	55	
48	38.7		1	1.30	164	70	
49	40.0		1	1.00	250	30	
50	41.0		1	1.90	124	75	
51	42.9		1	.80	132	70	
52	43.7		1	1.00	144	85	
53	44.7		1	1.50	80	80	
54	46.2		1	1.30	72	60	
55	47.5	47.8	2	.15	232	45	
56	47.8		1	1.20	232	45	
57	49.0		1	.30	136	84	
58	49.3	49.5	2	.10	246	65	
59	49.5		1	.60	246	65	
60	50.1		1	.30	141	57	
61	50.4		1		184	66	

ANEXO A- 4 ACESSO 60

PLANILHA DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL NÍVEL: 60 LOCAL : ACESSO 60 ORIENTAÇÃO DA FACE : 292/90 ORIENTAÇÃO DA SCANLINE : 292 OBSERVAÇÕES : INÍCIO: ponto topográfico 9 LITOLOGIA PRINCIPAL: granitóides SENTIDO : S1-S2 ALTURA SCANLINE : 1,2 m							
	DISTÂNCIA (m)	TRECHO (m)	No. DESCS.	ESPAÇA- MENTO (m)	DIR MERG (°)	MERG. (°)	OBSERVAÇÕES
1	1.00		1	.90	156	82	
2	1.90		1	1.20	250	75	
3	3.10	3.30	1	.01	110	89	ZONA CATACLASADA
4	3.30		1	.30	110	89	
5	3.60		1	.70	173	88	
6	4.30		1	.60	334	85	
7	4.90		1	.80	140	62	
8	5.70		1	1.20	114	86	
9	6.50		1	.62	338	89	
10	7.12		1	.73	155	58	
11	7.85	7.93	1	.01	68	79	ZONA CATACLASADA
12	7.93		1	.27	68	79	
13	8.20		1	.28	136	76	
14	8.48		1	.67	136	76	
15	9.15		1	.01	133	82	
16	10.80		1	.35	133	89	
17	11.15		1	1.12	98	89	
18	12.27	12.42	1	.01	88	85	ZONA CATACLASADA
19	12.42		1	1.82	88	85	
20	14.24		1	1.06	271	70	
21	15.30	16.10	1	.01	122	70	ZONA CATACLASADA
22	16.10		1	.60	122	70	
23	16.70		1	.15	332	90	
24	16.85		1	.40	50	70	
25	17.25		1	.05	160	90	
26	17.30	17.50	2	.10	126	85	
27	17.50		1	.50	126	85	
28	18.00		1	.30	124	80	
29	18.30		1	.20	124	80	
30	18.50		1	.20	156	85	
31	18.70		1	.55	312	85	
32	19.25		1	.15	312	80	
33	19.40		1	.80	90	80	
34	20.20		1	.20	90	90	
35	20.40		1	.50	132	80	
36	20.90		1	1.20	148	80	
37	22.10		1	.20	2	15	
38	22.30		1	.30	134	80	
39	22.60		1	.70	62	80	
40	23.30		1	1.55	150	90	
41	24.85	25.00	1	.01	126	72	ZONA CATACLASADA
42	25.00		1	1.44	126	72	
43	26.44		1	.38	274	85	
44	26.82		1	.26	52	85	
45	27.08		1	.65	131	88	
46	27.73		1	.81	108	86	

47	28.54		1	.25	108	82	
48	28.79		1	.83	310	65	
49	29.62		1	.38	90	76	
50	30.00		1	.35	140	89	
51	30.35		1	.30	310	78	
52	30.65		1	.24	132	57	
53	30.89		1	.26	116	80	
54	31.15		1	.79	298	82	
55	31.94		1	.24	286	78	
56	32.18		1	.14	111	64	
57	32.32		1	.20	140	70	
58	32.52		1	.38	87	80	
59	32.90		1	.30	74	82	
60	33.20		1	.44	86	77	
61	33.64		1	.26	148	80	
62	33.90		1	.72	270	58	
63	34.62		1	.32	320	71	
64	34.94		1	.33	75	77	
65	35.27		1	.73	282	60	
66	36.00		1	.80	232	38	
67	36.80	37.70	1	.01	273	64	ZONA CATACLASADA
68	37.70		1	.92	273	64	
69	38.62		1	.27	270	70	
70	38.89		1	.55	250	82	
71	39.44		1	1.76	270	89	
72	41.20		1	.44	286	70	
73	41.64		1	.72	132	89	
74	42.36	42.56	5	.04	308	52	
75	42.56		1	.91	308	52	
76	43.47		1	.98	126	60	
77	44.45		1	.23	128	46	
78	44.68		1	.07	308	82	
79	45.75		1	.30	124	62	
80	46.05		1	.15	124	89	
81	46.20		1	1.60	122	84	
82	47.80		1	.90	338	90	
83	48.70		1	.30	282	60	
84	49.00		1	.10	246	50	
85	50.00	50.30	1		282	70	FILÃO CaF ₂
86	50.30		1	.40	282	70	
87	50.70		1	.60	146	80	
88	51.30		1	.30	148	85	
89	51.60		1	.60	118	85	
90	52.20		1	.10	160	70	
91	52.30		1	1.70	300	80	
92	54.00		1	.80	334	75	
93	54.80		1	1.20	228	80	
94	56.00		1	.40	320	75	
95	56.40		1	1.20	302	70	
96	57.60		1	.60	330	70	
97	58.20		1	.80	312	40	
98	59.00		1		318	65	

ANEXO A- 5 CABECEIRA 60 S1

PLANILHA DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL							
NÍVEL: 60		LOCAL : CABECEIRA 60 S1					
ORIENTAÇÃO DA FACE :							
ORIENTAÇÃO DA SCANLINE :							
OBSERVAÇÕES :		INÍCIO: ponto topográfico 9					
LITOLOGIA PRINCIPAL: granitóides							
SENTIDO :		ALTURA SCANLINE : 1,2 m					
	DISTÂNCIA (m)	TRECHO (m)	No. DESCS.	ESPAÇA- MENTO (m)	DIR MERG (°)	MERG. (°)	OBSERVAÇÕES
1	.75		1	.60	118	64	FILÃO CAF2
2	1.35		1	.80	118	80	
3	2.15		1	2.93	281	70	
4	5.08		1	.47	198	70	
5	5.55		1	.45	2	75	
6	6.00		1	.75	110	80	FILÃO CAF2
7	6.75		1	2.15	270	64	
8	8.90		1	1.05	348	67	
9	9.95		1	.79	262	65	
10	10.74		1	.46	158	80	
11	11.20		1	.15	350	30	
12	11.35		1	.01	108	72	ZONA CATACLASADA
13	12.40		1	.38	26	60	
14	12.78		1	.12	106	55	
15	12.90		1	.50	2	60	
16	13.40	14.00	19	.01	117	77	ZONA CATACLASADA
17	14.00		1	.40	117	77	
18	13.60		1	.40	349	75	
19	14.40		1	.20	116	76	
20	14.60	15.20	3	.20	312	85	
21	15.20		1	.10	312	85	
22	14.92		1	.38	306	66	
23	15.30		1	.30	302	89	
24	15.60		1	.45	164	85	
25	16.05		1	.24	110	87	
26	16.29		1	.51	284	73	
27	16.80		1	.15	146	76	
28	16.95		1	1.05	122	89	
29	17.50		1	.50	286	57	
30	18.00		1	.85	286	52	
31	18.85		1	.47	336	54	
32	19.32		1	11.73	18	64	
33	31.05	35.95	1	3.80	284	68	ZONA CATACLASADA
34	35.95		1	.01	284	68	
35	35.71	39.75	1	.01	263	64	ZONA CATACLASADA
36	39.75		1	.82	263	64	
37	40.57		1	2.37	284	70	
38	42.94		1	.81	350	73	
39	43.75		1	.20	248	75	
40	43.95		1	1.00	247	65	
41	44.95		1	.95	24	83	
42	45.90		1	.76	346	56	
43	46.66		1	.19	144	73	
44	46.85		1		32	70	

ANEXO A- 6 CABECEIRA 60 S2

PLANILHA DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL

NÍVEL: 60

LOCAL : CABECEIRA 60 S2

ORIENTAÇÃO DA FACE :

ORIENTAÇÃO DA SCANLINE :

OBSERVAÇÕES :

INÍCIO: ponto topográfico 17

LITOLOGIA PRINCIPAL: granitóides

SENTIDO :

ALTURA SCANLINE : 1,3 m

	DISTÂNCIA (m)	TRECHO (m)	No. DESCS.	ESPAÇA- MENTO (m)	DIR MERG (°)	MERG. (°)	OBSERVAÇÕES
1	.35		1	2.85	138	62	
2	3.20		1	2.00	133	76	
3	5.20		1	.67	303	38	
4	5.87		1	1.59	311	84	
5	7.46		1		250	45	
6	8.60						PILAR CHAMINÉ
7	11.58		1	.77	202	80	
8	12.35		1	.45	300	84	
9	13.00		1	1.05	34	85	
10	14.05		1	.45	316	80	
11	14.50		1	.25	128	75	
12	14.75		1	10.68	209	60	
13	25.43		1	.77	44	75	
14	26.20		1	1.40	38	75	
15	27.60		1	.72	316	82	
16	28.32		1	1.03	134	75	
17	29.35		1	1.90	134	84	
18	31.25		1	.40	310	82	
19	31.65		1	.40	131	50	
20	32.05		1	1.21	129	76	
21	33.26	33.28	2	.01	49	74	
22	33.28		1	.77	49	74	
23	34.05		1	.58	122	85	
24	34.63		1	.96	62	75	
25	35.59		1	.41	62	75	
26	36.00		1	.74	140	80	
27	36.74	36.76	2	.01	51	84	
28	36.76		1	8.84	51	84	
29	45.60		1	.59	176	88	
30	46.19		1		172	84	

ANEXO A- 7 ACESSO 102

PLANILHA DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL							
NÍVEL: 102		LOCAL : ACESSO 102					
ORIENTAÇÃO DA FACE :							
ORIENTAÇÃO DA SCANLINE :							
OBSERVAÇÕES :		INÍCIO: ponto topográfico 36					
LITOLOGIA PRINCIPAL: granitóides							
SENTIDO : S1-S2		ALTURA SCANLINE : 1,2 m					
	DISTÂNCIA (m)	TRECHO (m)	No. DESCS.	ESPAÇA- MENTO (m)	DIR MERG (°)	MERG. (°)	OBSERVAÇÕES
1	0.00		1	1.60	250	75	
2	1.60		1	.01	266	80	ZONA CATACLASADA
3	2.25		1	.35	170	85	
4	2.60		1	.75	166	75	
5	3.35		1	.15	250	75	
6	3.50		1	.60	338	90	
7	4.10		1	.80	246	75	
8	4.90		1	.90	336	85	
9	5.80		1	.10	232	65	
10	5.90		1	.05	152	55	
11	5.95		1	.05	246	85	
12	6.00		1	.40	300	85	
13	6.40		1	.30	332	60	
14	6.70		1	.10	260	85	
15	6.80		1	.30	260	85	
16	7.10		1	.05	72	90	
17	7.15		1	.15	142	80	
18	7.30		1	.10	52	80	
19	7.40		1	.20	278	80	
20	7.60		1	.50	244	80	
21	8.10		1	.30	252	60	
22	8.40	8.50	2	.05	300	90	
23	8.50		1	.15	300	90	
24	8.45		1	.20	250	85	
25	8.65		1	.15	290	85	
26	8.80		1	.15	274	85	
27	8.95		1	.55	134	85	
28	9.50		1	.90	120	85	
29	10.40		1	.40	106	90	
30	10.80		1	.10	138	90	
31	10.90		1	.40	235	74	
32	11.30		1	.10	78	86	
33	11.40		1	.20	232	70	
34	11.60		1	.15	131	70	
35	11.85	12.10	2	.12	254	87	
36	12.10		1	.55	254	87	
37	12.65	13.20	43	.01	304	88	ZONA CATACLASADA
38	13.20		1	.20	304	88	
39	13.40		1	.38	124	85	
40	13.78	13.93	2	.07	91	76	
41	13.93		1	.17	91	76	
42	14.10		1	.35	144	85	
43	14.45		1	.24	274	82	
44	15.69	16.48	13	.06	111	86	
45	16.48		1	.42	111	86	
46	15.83	15.96	2	.06	176	75	

47	15.96		1	.41	176	75	
48	16.37	16.90	2	.26	125	89	
49	16.90		1	.10	125	89	
50	16.56	16.74	4	.04	84	83	
51	16.74		1	.04	84	83	
52	16.78	17.00	1	.22	46	70	
53	17.00		1	.14	46	70	
54	16.90		1	.10	160	74	
55	17.14		1	.40	117	86	
56	17.54	17.93	3	.13	97	85	
57	17.93		1	.32	97	85	
58	18.25	18.95	3	.23	108	86	
59	18.95		1	.27	108	86	
60	18.57		1	.65	158	42	
61	19.22	19.86	5	.12	117	85	
62	19.86		1	.29	117	85	
63	20.15	21.07	3	.30	100	75	
64	21.07		1	.10	100	75	
65	20.40		1	.07	263	82	
66	20.47		1	.11	150	50	
67	20.58		1	.01	110	79	
68	20.59		1	.33	86	80	
69	20.92	21.24	2	.16	95	72	
70	21.24		1	.12	95	72	
71	21.17		1	.24	100	84	
72	21.41		1	.13	100	84	
73	21.36	21.54	3	.06	124	83	
74	21.54		1	.86	124	83	
75	22.40		1	.45	97	88	
76	22.85		1	.26	98	89	
77	23.11		1	.29	254	80	
78	23.40	23.68	2	.14	294	84	
79	23.68		1	.16	294	84	
80	23.84		1	.24	116	71	
81	24.08	24.31	3	.07	310	86	
82	24.31		1	.83	310	86	
83	25.14		1	.05	99	80	
84	25.19	25.23	2	.04	179	34	
85	25.23		1	.02	179	34	
86	25.25	25.30	3	.01	276	77	
87	25.30		1	.09	276	77	
88	25.39		1	.10	105	88	
89	25.49	25.58	3	.03	98	89	
90	25.58		1	.07	98	89	
91	25.65	25.80	3	.05	121	36	
92	25.80		1	.34	121	36	
93	26.14		1	.21	70	77	
94	26.35	26.55	4	.05	284	45	
95	26.55		1	.05	284	45	
96	26.37		1	.23	85	73	
97	26.60		1	.09	110	88	
98	26.69		1	.26	120	83	
99	26.95	27.20	2	.12	84	76	
100	27.20		1	.20	84	76	
101	27.10		1	.10	202	52	
102	27.40		1	.30	152	71	
103	27.70		1	.17	225	86	
104	27.87		1	.13	96	87	

105	28.00		1	.47	110	71	
106	28.47	28.94	4	.11	157	84	
107	28.94		1	.19	157	84	
108	28.75		1	.13	312	65	
109	28.88		1	.12	104	82	
110	29.00		1	.27	95	61	
111	29.27	29.53	3	.08	304	72	
112	29.53		1	.07	304	72	
113	29.60		1	1.00	318	70	
114	30.60		1	.60	302	20	
115	31.20		1	.20	304	55	
116	31.40		1	.70	306	75	
117	32.10		1	.50	312	70	FILÃO CAF ₂
118	32.60		1	.10	76	85	
119	32.70		1	.20	330	60	
120	32.90		1	.70	76	85	
121	33.60		1	.30	316	80	
122	33.90		1	1.00	316	75	
123	34.90	35.80	1	.01	316	80	ZONA CATACLASADA
124	35.80		1	.30	316	80	
125	35.20		1	.35	132	75	
126	35.55		1	.55	310	80	
127	36.10		1	.10	304	85	
128	36.20		1	.40	326	80	
129	36.60		1	.50	138	90	
130	37.10		1	.20	128	90	
131	37.30		1	.09	304	85	
132	37.39		1	.50	286	65	
133	37.89	38.38	1	.49	270	65	
134	38.38		1	.42	270	65	
135	38.10	38.30	1	.01	310	70	ZONA CATACLASADA
136	38.30		1	.50	310	70	
137	38.80		1	1.40	332	65	
138	40.20		1	.45	264	55	
139	40.65		1	.65	264	55	
140	41.30		1	.50	316	74	
141	41.80		1	1.60	316	83	
142	43.40	44.90	1	.01	130	75	ZONA CATACLASADA
143	44.90		1	.42	130	75	
144	43.85		1	.55	314	55	
145	44.40	44.80	1	.01	303	82	ZONA CATACLASADA
146	44.80		1	.52	303	82	
147	45.32		1	.20	315	80	
148	45.52		1	.06	310	80	
149	45.58		1	.22	132	81	
150	45.80		1	.20	117	89	
151	46.00		1	.15	302	55	
152	46.15		1	.25	320	85	
153	46.40		1	.16	128	65	
154	46.56		1	.29	125	72	
155	46.85		1	.55	310	81	
156	47.40		1	1.10	310	65	
157	48.50	48.95	14	.03	212	78	
158	48.95		1	.35	212	78	
159	48.88		1	.42	247	80	
160	49.30		1	.40	307	80	
161	49.70		1	.30	243	76	
162	50.00		1	.20	285	66	

163	50.20		1	.42	266	50	
164	50.62		1	.43	278	84	
165	51.05		1	1.05	98	88	VEIO QUARTZO
166	52.10	53.10	19	.05	118	76	ZONA CATACLASADA
167	53.10		1	.17	118	76	
168	52.30		1	.52	131	82	VEIO QUARTZO
169	52.82		1	.45	251	70	
170	53.27	53.71	11	.04	287	60	ZONA CATACLASADA
171	53.71		1	.87	287	60	
172	53.60		1	.98	130	45	
173	54.58	55.26	13	.01	296	76	ZONA CATACLASADA
174	55.26		1	.31	296	76	
175	54.92		1	.65	270	63	
176	55.57		1	.73	246	81	
177	56.30	56.42	19	.01	277	77	
178	56.42		1	.34	277	77	
179	56.76		1	.22	278	73	
180	56.98	57.19	2	.10	267	72	
181	57.19		1	.21	267	72	
182	57.40		1	.48	131	84	
183	57.88		1	1.52	239	88	
184	59.40	60.40	49	.01	286	70	ZONA CATACLASADA

ANEXO A- 8 CABECEIRA 102 S1

PLANILHA DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL							
NÍVEL: 102		LOCAL : CABECEIRA 102 S1					
ORIENTAÇÃO DA FACE :							
ORIENTAÇÃO DA SCANLINE :							
OBSERVAÇÕES :		INÍCIO: ponto topográfico 36					
LITOLOGIA PRINCIPAL: granitóides							
SENTIDO :		ALTURA SCANLINE : 1,2 m					
	DISTÂNCIA (m)	TRECHO (m)	No. DESCS.	ESPAÇA- MENTO (m)	DIR MERG (°)	MERG. (°)	OBSERVAÇÕES
1	0.00	.40	2	.20	300	88	
2	.40		1	.05	300	88	
3	.45	.65	11	.01	94	89	
4	.65		1	.65	94	89	
5	1.30	2.85	5	.31	238	85	
6	2.85		1	.09	238	85	
7	2.94	2.95	1	.01	270	78	ZONA CATACLASADA
8	2.95		1	.01	270	78	
9	2.96	8.60	1				FILÃO CAF2
10	8.60	8.80	4	.05	160	88	
11	8.80		1	.81	160	88	
12	9.60	10.00	5	.07	72	85	
13	10.00		1	.60	72	85	
14	10.60	10.70	2	.05	26	70	
15	10.70		1	.70	300	83	VEIO QUARTZO
16	11.40		1	.12	164	89	
17	11.52		1	.23	312	88	
18	11.75		1	.17	150	40	
19	11.92		1	.68	290	85	
20	12.60		1	.35	304	86	
21	12.95	13.10	3	.07	323	87	
22	13.10	13.30	5	.04	290	85	
23	13.30		1	.35			
24	13.65		1	.35	106	85	
25	14.00	14.10	3	.03	322	86	
26	14.10		1	.10			
27	14.20	14.34	6	.02	326	85	
28	14.34		1	.01			
29	14.35		1	.10	140	88	
30	14.45		1	.40	312	89	
31	14.85		1	.15	302	83	
32	15.00	15.05	2	.02	106	90	
33	15.05		1	.55	6	90	
34	15.60		1	.60	305	85	
35	16.20		1	.70	288	80	
36	16.90		1	.65	324	85	
37	17.55		1	.15	132	80	
38	17.70		1	.20	142	85	
39	17.90		1	.60	270	70	
40	18.50		1	.05	141	80	
41	18.55		1	.25	286	75	
42	18.80		1	.40	150	80	
43	19.20		1	.20	3	45	
44	19.40		1	.10	272	70	
45	19.50		1	.30	301	85	
46	19.80		1	.03	190	75	

47	19.83		1	.17	302	85	
48	20.00		1	.35	292	90	
49	20.35		1	.20	280	75	
50	20.55		1	.65	332	85	
51	21.20		1	.60	276	75	
52	21.80		1	3.90	312	85	
53	25.70		1	1.75	143	85	CURVA POÇO
54	27.45		1	1.65	314	85	
55	29.10		1	1.35	346	75	FIM POÇO
56	30.45		1	.35	70	84	
57	30.80		1	.40	210	83	
58	31.20		1	.60	289	79	
59	31.80		1	.50	184	74	
60	32.30		1	.90	19	34	
61	33.20		1	.70	28	82	
62	33.90		1	1.25	10	35	
63	35.15		1	1.60	14	75	
64	36.75		1	.25	359	88	
65	37.00		1	.60	231	45	
66	37.60		1	1.20	123	85	
67	38.80		1	.10	227	26	
68	38.90		1	1.00	26	78	
69	39.90		1	.30	272	35	
70	40.20		1	2.05	346	70	
71	42.25		1	1.00	8	70	
72	43.25		1	.85	124	80	
73	44.10		1	.60	267	75	
74	44.70		1	.20	29	85	
75	44.90		1	.20	314	80	
76	45.10		1	.30	16	25	
77	45.40		1	.30	16	25	
78	45.70		1	.05	16	25	
79	45.75		1	.05	16	85	
80	45.80		1	2.70	108	80	
81	48.50		1	.30	116	85	
82	48.80		1	.55	200	85	
83	49.35		1	.05	29	90	
84	49.40		1	.69	196	80	
85	50.09		1	.91	84	88	
86	51.00		1	.52	200	78	
87	51.52		1	.30	284	75	
88	51.82		1		258	88	

ANEXO A- 9 CABECEIRA 102 S2

PLANILHA DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL NÍVEL: 102 LOCAL : CABECEIRA 102 S2 ORIENTAÇÃO DA FACE : ORIENTAÇÃO DA SCANLINE : OBSERVAÇÕES : INÍCIO: ponto topográfico 34 LITOLOGIA PRINCIPAL: granitóides SENTIDO : ALTURA SCANLINE : 1,2 m							
	DISTÂNCIA (m)	TRECHO (m)	No. DESCS.	ESPAÇA- MENTO (m)	DIR MERG (°)	MERG. (°)	OBSERVAÇÕES
1	.10		1	.65	194	70	
2	.75		1	.67	180	60	
3	1.42		1	.35	226	64	
4	1.77		1	.68	188	65	
5	2.45		1	1.37	214	70	
6	3.82		1	.43	183	45	
7	4.25		1	1.40	190	45	
8	5.65		1	.35	184	48	
9	6.00	6.50	4	.12	191	63	
10	6.50		1	.15	187	60	
11	6.65		1	.10	294	85	
12	6.75	7.05	14	.02	182	45	
13	7.05		1	.35	182	45	
14	7.40		1	.10	212	85	
15	7.50	8.55	3	.52	138	55	
16	8.55	9.50	5	.23	170	53	
17	9.50	9.85	4	.08	190	50	
18	9.85		1	1.35	183	65	
19	11.20		3		186	50	

ANEXO A- 10 ACESSO 152

PLANILHA DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL							
NÍVEL: 152		LOCAL : ACESSO 152					
ORIENTAÇÃO DA FACE :							
ORIENTAÇÃO DA SCANLINE :							
OBSERVAÇÕES :		INÍCIO: ponto topográfico 3					
LITOLOGIA PRINCIPAL: granitóides							
SENTIDO :		ALTURA SCANLINE : 1,2 m					
	DISTÂNCIA (m)	TRECHO (m)	No. DESCS.	ESPAÇA- MENTO (m)	DIR MERG (°)	MERG. (°)	OBSERVAÇÕES
1	0.00	9.70					ESCORAMENTO
2	9.75	10.00	3	.08	116	89	
3	10.00		1	.45	228	16	
4	10.45	10.55	3	.03	122	89	FILÃO CAF2
5	10.55		1	.27	122	89	
6	10.82		1	.38	132	67	
7	11.20	11.40	4	.05	268	68	
8	11.40		1	.60	207	63	
9	12.00		1	.18	281	52	
10	12.18		1	.12	111	78	
11	12.30		1	.35	285	60	
12	12.65	13.65	4	.25	306	59	
13	13.65		1	.40	114	88	
14	14.05		1	.07	302	75	
15	14.12	14.20	3	.02	304	74	FILÃO CAF2
16	14.20		1	.60	304	74	
17	14.80	15.10	47	.01	325	54	
18	15.10		1	.40	322	64	
19	15.50		1	.15	118	89	
20	15.65	16.05	3	.13	127	86	
21	16.05		1	1.05	330	55	
22	17.10		1	.70	290	78	
23	17.80		1	.12	132	67	
24	17.92	18.80	3	.29	322	45	
25	18.80		1	.70	288	88	
26	19.50	21.10	6	.26	300	85	
27	21.10		1	1.00	300	85	
28	22.10		1	3.80	318	65	
29	25.90		1	.80	143	85	
30	26.70		1	.10	293	85	
31	26.80		1	.35	336	80	
32	27.15		1	.25	118	82	
33	27.40	28.20	2	.80	303	75	
34	28.20		1	.60	303	75	
35	27.90		1	.90	146	80	CONTATO
36	28.80		1	.05	305	85	
37	28.85		1	.05	330	45	
38	28.90		1	.10	280	85	
39	29.00		1	.95	338	45	
40	29.95		1	.10	228	85	
41	30.05		1	.05	228	85	
42	30.10		1	.25	55	73	
43	30.35		1	.85	42	90	
44	31.20		1	.45	99	17	
45	31.65		1	.07	99	17	
46	31.72		1	.55	244	88	

47	32.27		1	.28	284	86	
48	32.55		1	.02	32	88	
49	32.57		1	.23	336	87	
50	32.80		1	.60	32	88	
51	33.40		1	1.10	308	83	
52	33.50	34.25	7	.01	115	85	ZONA CATACLASADA
53	34.25		1	.87	115	85	
54	35.12		1	.08	110	90	
55	35.20		1	.12	288	83	
56	35.32		1	.05	288	83	
57	35.37		1	.13	144	90	
58	35.50		1	.50	137	82	
59	36.00		1	.50	282	85	
60	36.50		1	.44	317	85	
61	36.94		1	.31	294	87	
62	37.25		1	.50	294	87	
63	37.75	37.80	7	.01	86	78	
64	37.80		1	.10	86	78	
65	37.90		1	.10	210	42	
66	38.00	38.60	7	.08	290	88	
67	38.60		1	.90	290	88	
68	39.50	40.10	13	.01	317	85	ZONA CATACLASADA
69	40.10		1	.05	317	85	
70	40.15		1	.05	324	78	
71	40.20		1	.70	289	47	
72	40.90		1	.88	144	88	
73	41.78		1	.29	314	86	
74	42.07		1	.23	314	50	
75	42.30		1	.25	335	45	
76	42.55		1	.40	323	65	
77	42.95		1	.13	138	60	
78	43.08		1	.42	286	63	
79	43.50	43.74	7	.03	110	85	
80	43.74		1	.01	110	85	
81	43.75		1	.95	308	65	
82	44.70		1	.45	138	60	
83	45.15		1	.15	308	62	
84	45.30		1	.40	290	60	
85	45.70		1	.25	137	60	
86	45.95		1	.40	300	77	
87	46.35		1	.77	162	64	
88	47.12		1	.13	236	82	
89	47.25		1	.70	343	87	
90	47.95		1	.45	68	70	
91	48.40		1	.60	140	56	
92	49.00		1	.65	127	35	
93	49.65		1	.15	120	38	
94	49.80		1	.10	288	82	
95	49.90		1	.60	86	42	
96	50.50	52.35	7	.30	166	85	
97	52.35	52.75	35	.01	334	78	
98	52.75		1	.05	334	78	
99	52.80		1	.25	99	89	
100	53.05	53.92	13	.06	287	83	
101	53.92		1	.01	287	83	
102	53.93	54.13	13	.01	117	73	
103	54.13		1	.17	117	73	
104	54.30		1	.20	125	77	

105	54.50	54.70	6	.03	116	89	
106	54.70		1	.45	116	89	
107	55.15	55.95	2	.80	300	40	
108	55.95		1	.50	292	65	
109	56.45	58.50	7	.01	306	75	ZONA CATACLASADA
110	58.50		1	3.80	306	75	
111	62.30		1	.85	290	78	
112	63.15	63.70	13	.04	270	78	
113	63.70		1	.10	270	78	
114	63.80	64.05	32	.01	297	65	
115	64.05		1	.30	297	65	
116	64.35		1	1.15	285	68	
117	65.50		1	.20	270	68	
118	65.70		1	.40	303	65	FILÃO CAF2
119	66.10		1	.90	138	52	
120	67.00	67.50	1	.01	307	83	FILÃO CAF2
121	67.70	68.00	1	.01	268	70	ZONA CATACLASADA
122	70.65		1		312	65	

ANEXO A- 11 CABECEIRA 152 S1

PLANILHA DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL							
NÍVEL: 152		LOCAL : CABECEIRA 152 S1					
ORIENTAÇÃO DA FACE :							
ORIENTAÇÃO DA SCANLINE :							
OBSERVAÇÕES :		INÍCIO: ponto topográfico 3					
LITOLOGIA PRINCIPAL: granitóides							
SENTIDO :		ALTURA SCANLINE : 1,2 m					
	DISTÂNCIA (m)	TRECHO (m)	No. DESCS.	ESPAÇA- MENTO (m)	DIR MERG (°)	MERG. (°)	OBSERVAÇÕES
1	1.65		1	.40	328	60	
2	2.05	2.95	6	.15	206	73	
3	2.95		1	.61	323	78	
4	3.55		1	.45	314	65	
5	4.00	4.65	6	.10	316	71	
6	4.65		1	8.75	277	77	
7	13.40	13.60	2	.20	298	57	
8	13.60		1	.30	298	57	
9	13.90		1	.20	279	75	
10	14.10		1	.50	279	75	
11	14.60		1	.15	288	55	
12	15.75	15.85	2	.10	192	88	
13	15.85		1	.02	192	88	
14	15.87		1	.73	316	55	
15	16.60	17.30	5	.14	320	40	
16	17.30		1	1.75	320	40	
17	16.80		1	.50	330	72	
18	19.05	19.10	8	.01	294	70	
19	19.10		1	.10	294	70	
20	19.20		1	.30	130	85	
21	19.50		1	.50	134	62	
22	20.00		1	1.50	290	71	
23	21.50	21.80	6	.05	323	72	
24	21.80		1	.70	47	85	
25	22.50		1	.50	302	65	
26	23.00	23.20	5	.04	330	82	
27	23.20		1	.50	330	82	
28	23.70		1	.30	309	60	
29	24.00		1	1.30	339	85	
30	25.30	25.70	3	.13	310	80	
31	25.70		1	.30	310	80	
32	26.00	27.80	16	.11	313	70	
33	27.80		1	.40	313	70	
34	28.20	28.70	3	.16	319	70	
35	28.70		1	.60	319	70	
36	28.30		1	1.00	178	55	
37	29.30		1	1.30	330	83	
38	30.60		1	.70	308	85	
39	31.30		1	.60	121	87	
40	31.90		1	1.20	298	35	
41	33.10		1	1.70	296	66	
42	34.80		1	.60	338	33	
43	35.40		1	.10	207	20	
44	35.50		1	2.60	338	33	
45	38.10	38.50	3	.13	193	25	
46	38.50		1	.10	193	25	

47	38.60		1	3.10	312	75	
48	41.70	42.00	2	.30	292	70	
49	42.00		1	.10	292	70	
50	42.10		1	3.45	157	12	
51	45.55		1	1.15	348	84	
52	46.70		1	.85	96	80	
53	47.55	50.25	3	1.35	280	84	
54	50.25	51.92	8	.23	228	84	
55	51.92	52.65	5	.18	336	72	
56	52.65	57.00	7	.72	318	66	
57	57.00	59.32	3	1.16	318	82	
58	59.32		15		317	65	

ANEXO A- 12 CABECEIRA 152 S2

ANEXO A - 12 CABECEIRA 152 S2

PLANILHA DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL							
NÍVEL: 152		LOCAL : CABECEIRA 152 S2					
ORIENTAÇÃO DA FACE :							
ORIENTAÇÃO DA SCANLINE :							
OBSERVAÇÕES :						INÍCIO: ponto topográfico 9	
LITOLOGIA PRINCIPAL: granitóides							
SENTIDO :		ALTURA SCANLINE : 1,2 m					
	DISTÂNCIA (m)	TRECHO (m)	No. DESCS.	ESPAÇA- MENTO (m)	DIR MERG (°)	MERG. (°)	OBSERVAÇÕES
1	0.00	8.65					
2	8.65		1	.90	270	74	
3	9.55	10.00	2	.22	259	77	
4	10.00		1	2.30	259	77	
5	12.30		1	3.10	43	64	
6	15.40		1	1.35	68	85	
7	16.75		1	.45	68	89	
8	18.20		1	.50	8	74	
9	18.70		1	3.40	64	87	
10	22.10		1	1.42	10	73	
11	23.52		1	.28	13	65	
12	23.80		1	.40	13	65	
13	24.20		1	.20	10	67	
14	24.40		1	1.90	10	67	
15	26.30		1	.10	58	50	FILÃO CaF ₂
16	26.40		1	4.05	6	80	FILÃO CaF ₂
17	30.45		1	2.15	295	44	
18	32.60		1	3.87	122	69	
19	36.47		1	2.03	65	58	
20	38.50	42.10					TRAV152S
21	47.00	48.00	2	.50	50	30	
22	48.00		1	4.70	50	30	
23	52.70	53.10	2	.40	138	52	
24	53.10	60.00					TRAV152W

ANEXO A- 13 ACESSO 223

ANEXO A- 13 ACESSO 223

PLANILHA DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL

NÍVEL: 223

LOCAL : ACESSO 223

ORIENTAÇÃO DA FACE :

ORIENTAÇÃO DA SCANLINE :

OBSERVAÇÕES :

LITOLOGIA PRINCIPAL: granitóides

SENTIDO : S1-S2

ALTURA SCANLINE : 1,2 m

INÍCIO: ponto topográfico 4

	DISTÂNCIA (m)	TRECHO (m)	No. DESCS.	ESPAÇA- MENTO (m)	DIR MERG (°)	MERG. (°)	OBSERVAÇÕES
1	.38	2.22	22	.08	303	84	
2	2.22		1	.01	303	84	
3	2.23	3.00	3	.38	316	77	
4	3.00	4.27	20	.06	296	89	
5	4.27	5.32	12	.09	284	70	
6	5.32	6.52	14	.09	118	76	
7	6.52		1	1.01	134	88	
8	7.53		1	.47	294	82	
9	8.00	8.40	9	.04	323	85	
10	8.40		1	.85	323	85	
11	9.25	9.45	8	.02	151	78	
12	9.45	9.70	2	.12	313	52	
13	9.70		1	.05	313	52	
14	9.75	10.20	23	.01	328	78	
15	10.20		1	.20			
16	10.40	11.70	8	.18	276	89	
17	11.70	12.20	7	.07	287	84	
18	12.20		1	1.17	.		
19	13.37		1	1.68	273	86	
20	15.05		1	.92	326	83	
21	15.97	16.30	3	.16	359	47	
22	16.30	16.57	15	.01	300	76	
23	16.57		1	2.93			
24	19.50		1	.50	140	90	
25	20.15	22.50	9	.26	262	80	
26	22.50		1	.15			
27	20.40		1	.85	262	42	
28	21.25		1	1.40	280	32	
29	22.65		1	.50	132	86	
30	23.15		1	.05	90	87	
31	23.20		1	.25	169	84	
32	23.45	24.50	15	.07	156	88	
33	24.10	24.50	22	.01	134	82	ZONACATACLASADA
34	24.50	24.80	8	.04	276	65	
35	24.80	25.25	8	.09	316	75	
36	25.25	25.60	3	.11	302	77	
37	25.60		1	.20	302	77	
38	25.80	28.30	22	.11	136	87	
39	28.03		1	.90	136	87	
40	26.75		1	2.45	247	66	
41	29.20	30.00	11	.08	132	85	
42	29.40	30.00	5	.12	286	67	
43	30.00		1	.40	286	67	
44	30.40	30.50	5	.02	296	67	
45	30.50		1	2.40	296	67	
46	32.90	33.70	9	.08	130	84	

47	33.70		1	.77	130	84	
48	34.47		1	.73	333	86	
49	35.20		1	1.45	300	52	
50	36.65		1	1.32	256	52	
51	37.97		1	1.58	126	75	
52	39.55		1	.42	304	54	
53	39.97	40.60	9	.07	324	89	
54	40.60		1	.73	130	75	
55	41.33	41.70	8	.05	128	80	
56	41.70	42.40	20	.03	138	82	
57	42.35	42.45	2	.05	267	58	
58	42.45		1	1.30	338	83	
59	43.75	44.18	2	.21	262	62	
60	44.18		1	.22	236	52	
61	44.40	45.00	13	.04	140	88	
62	45.00	45.20	12	.01	302	67	
63	45.20		1	.50	302	67	
64	45.70	45.80	26	.01	125	92	
65	45.80		1	.35	125	92	
66	46.15	46.75	10	.06	134	80	
67	46.75		1	.25	134	80	
68	47.00		1	.20	312	71	
69	47.20		1	.35	136	74	
70	47.55		1	.45	270	35	
71	47.80	48.50	3	.23	344	84	
72	48.50	49.60	4	.27	232	85	
73	49.60		1	.40	306	65	
74	50.00	50.70	17	.04	335	65	
75	50.70	51.60	10	.09	273	75	
76	51.60	52.20	2	.30	85	88	
77	52.20		1	.70	85	88	
78	52.90		1	1.10	300	80	
79	54.00	54.15	10	.01	302	50	
80	54.15		1	1.55	302	50	
81	55.70		1	.20	292	60	
82	55.90		1	.60	129	97	
83	56.30		1	.20	83	70	
84	56.50	58.00	1	1.50	310	46	
85	58.00		1	.25	310	46	
86	57.00	59.20	5	.44	301	75	
87	59.20		1	.30	301	75	
88	58.25	59.10	5	.17	300	65	
89	59.10		1	.10	300	65	
90	58.70	59.50	4	.20	230	80	
91	59.50		1	1.20	230	80	
92	60.70	61.20	2	.25	320	70	
93	61.20		1	.80	320	70	
94	62.00	62.15	2	.07	242	72	
95	62.15		1	.10	242	72	
96	62.25	63.40	18	.06	319	80	
97	63.40		1	.50	319	80	
98	63.90	64.50	1	.01	232	66	FILÃO CaF ₂
99	65.30	66.40					
100	66.80	67.80	19	.05	272	60	
101	67.80		1	.20	272	60	
102	68.00		1	2.20	274	50	
103	70.20	70.30	1	.01	314	85	
104	70.50	71.70	15	.08	314	85	

105	71.70		1	.30	314	85	
106	71.60	72.00	3	.13	30	57	
107	72.00		1	.20	30	57	
108	72.20	73.80	13	.12	272	55	
109	73.80		1	.10	272	55	
110	73.90	76.00	22	.09	256	62	
111	76.00		1	.20	256	62	
112	76.20		1	1.60	286	45	
113	77.80		1	.25	330	65	
114	78.05	78.70	5	.13	268	65	
115	78.70		1	.60	268	65	
116	79.30	79.80	4	.16	295	45	

ANEXO A- 14 CABECEIRA 223 S1

PLANILHA DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL							
NÍVEL: 223		LOCAL : CABECEIRA 223S1					
ORIENTAÇÃO DA FACE :							
ORIENTAÇÃO DA SCANLINE :							
OBSERVAÇÕES :		INÍCIO: ponto topográfico 4					
LITOLOGIA PRINCIPAL: granitóides							
SENTIDO :		ALTURA SCANLINE : 1,2 m					
	DISTÂNCIA (m)	TRECHO (m)	No. DESCS.	ESPAÇA- MENTO (m)	DIR MERG (°)	MERG. (°)	OBSERVAÇÕES
1	1.60		1	2.40	22	28	
2	4.00		1	.20	108	27	
3	4.20		1	.40	52	30	
4	4.60		1	2.70	245	65	
5	7.30		1	.80	192	90	
6	8.10		1	.30	133	90	
7	8.40		1	.50	296	77	
8	8.90		1	.10	335	55	
9	9.00		1	1.30	202	90	
10	10.30		1	.65	315	75	
11	10.95	11.00	9	.01	75	55	
12	11.00		1	.70	75	55	
13	11.70		1	.90	220	22	
14	12.60	13.40	3	.26	5	56	
15	13.40		1	1.10	5	56	
16	14.50	17.00		.01			ZONA CATACLASADA
17	17.00		1	.90			
18	16.10		1	.30	331	59	
19	16.40		1	1.50	331	59	
20	17.90		1	.50	286	37	
21	18.40		1	1.60	290	42	
22	20.00						TOPOGRÁFICO 6
23	20.40	21.10	4	.17	343	73	
24	21.80		1	.70	343	73	
25	20.80	21.80	4	.33	46	33	
26	21.80		1	.70	311	72	
27	22.50		1	1.50	284	20	
28	24.00		1	.17	319	57	
29	24.17		1	.48	319	57	
30	24.65		1	.45	352	76	
31	25.10		1	2.40	338	98	
32	27.50		1	3.50	133	88	
33	31.00	31.30	2	.15	328	78	
34	31.30		1	.95	328	78	
35	32.25	32.50	2	.12	313	66	
36	32.50		1	.50	313	66	
37	33.00		1	1.30	315	72	
38	34.30	35.50	3	.40	88	85	
39	35.50		1	.10	88	85	
40	35.60		1	.40	337	54	
41	36.00		1	.70	322	87	
42	36.70		1	1.10	320	87	
43	37.80		1	1.20	348	54	
44	39.00		1	.80	331	82	
45	39.80	40.50	11	.06	9	73	
46	40.50		1	1.05	9	73	

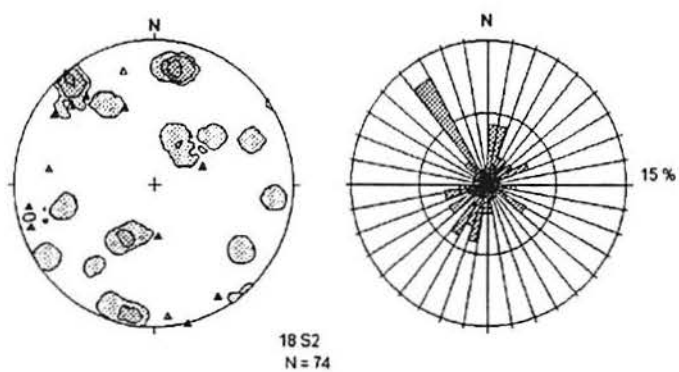
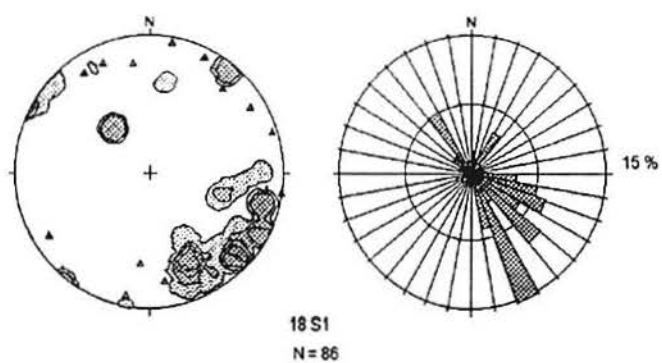
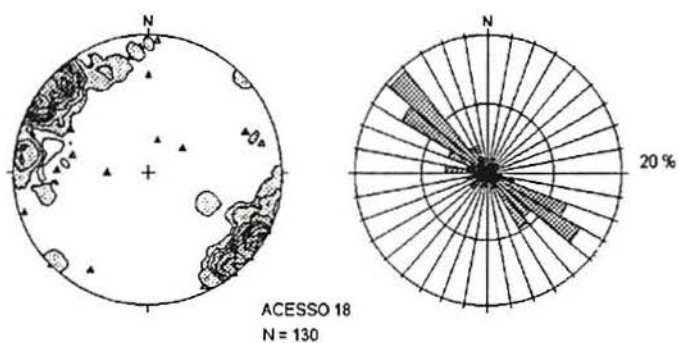
47	41.55	41.80	2	.12	232	74	
48	41.80		1	.90	232	74	
49	42.70		1	1.00	350	75	
50	43.70	44.40	8	.08	345	82	
51	44.40		1	.60	345	82	
52	45.00		1	.01			INICIO CAIMENTO

ANEXO A- 15 CABECEIRA 223 S2

PLANILHA DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL NÍVEL: 223 LOCAL : CABECEIRA 223 S2 ORIENTAÇÃO DA FACE : ORIENTAÇÃO DA SCANLINE : OBSERVAÇÕES : INÍCIO: ponto topográfico 9 LITOLOGIA PRINCIPAL: granitóides SENTIDO : ALTURA SCANLINE : 1,2 m							
	DISTÂNCIA (m)	TRECHO (m)	No. DESCS.	ESPAÇA- MENTO (m)	DIR MERG (°)	MERG. (°)	OBSERVAÇÕES
1	.50		1	1.40	92	70	
2	1.90		1	.65	131	89	
3	2.55		1	2.45	131	89	
4	5.00		1	2.40	292	52	
5	7.40		1	2.30	76	30	
6	9.70		1	.45	272	87	
7	10.15		1	1.25	80	70	
8	11.40	11.50	2	.05	242	28	
9	11.50		1	.10	242	28	
10	11.60		1	.95	340	75	
11	12.55		1	.55	252	45	
12	13.10		1	.95	250	52	
13	14.05		1	.20	250	52	
14	14.25		1	.75	250	52	
15	15.00		1	.20	257	59	
16	15.20		1	.90	257	59	
17	16.10		1	1.55	137	63	
18	17.65		1	.15	256	60	
19	17.80		1	2.10	182	60	
20	19.90	20.20	2	.15	97	58	
21	20.20		1	.70	97	58	
22	20.90		1	.60	108	60	
23	21.50	30.00		.01			CAIMENTO
24	31.00	46.00					DESCS. PARALELAS À GALERIA E SCANLINE
25	46.00						TRAVESSA

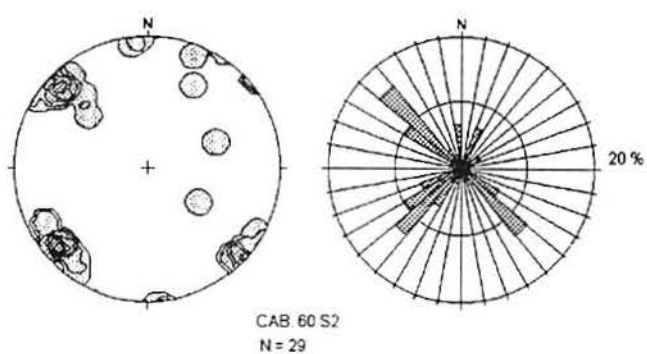
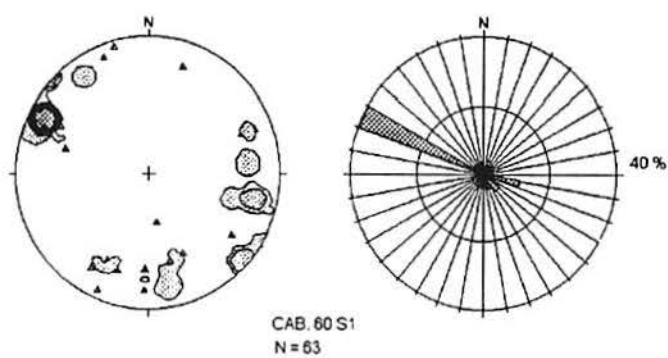
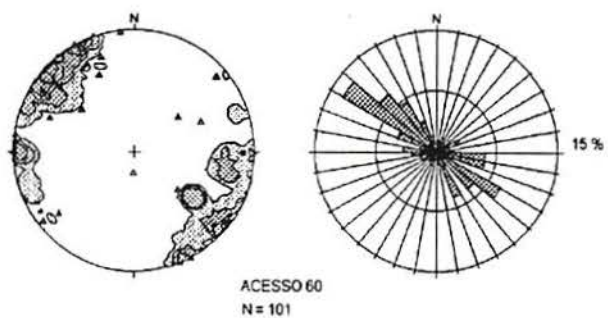
ANEXO B-1 Estereogramas e diagramas de rosetas dos pólos de descontinuidades.

NÍVEL 18



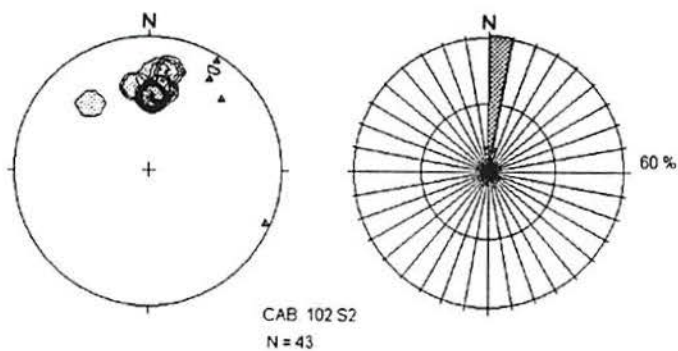
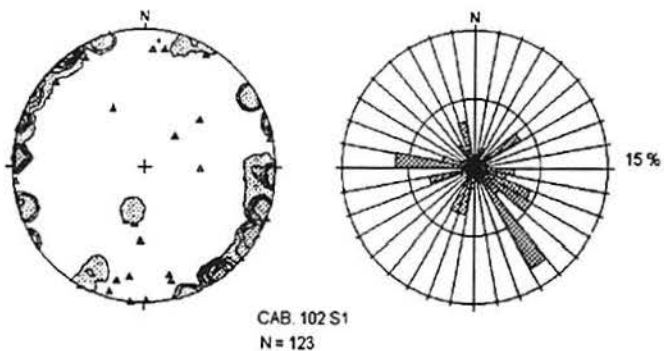
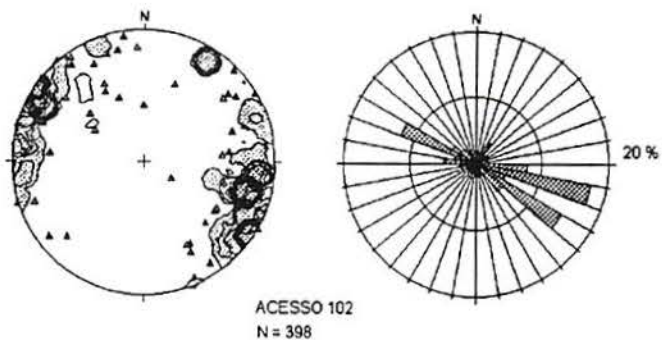
ANEXO B-2 Estereogramas e diagramas de rosetas dos pólos de descontinuidades.

NÍVEL 60



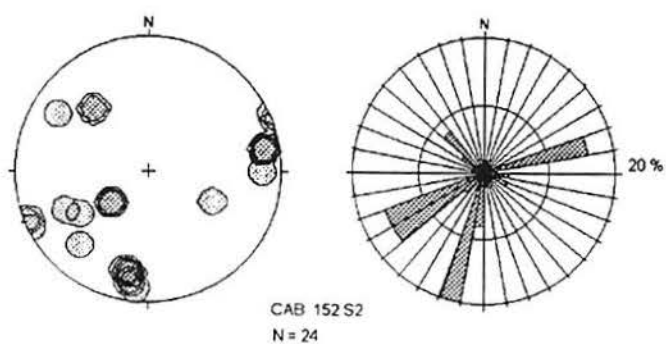
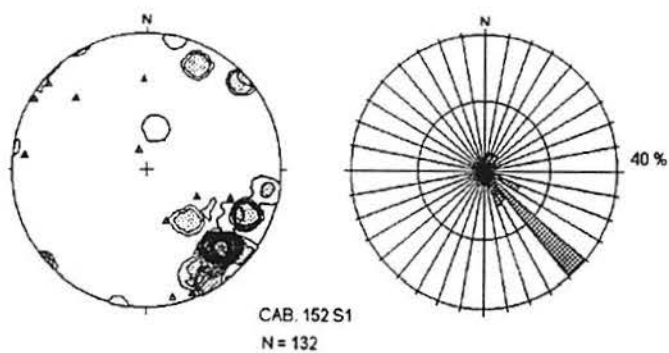
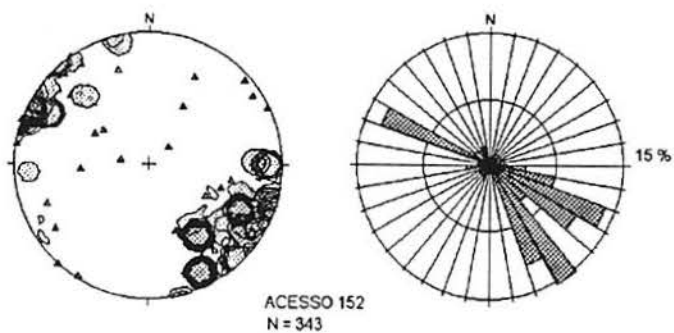
ANEXO B-3 Estereogramas e diagramas de rosetas dos pólos de descontinuidades.

NÍVEL 102



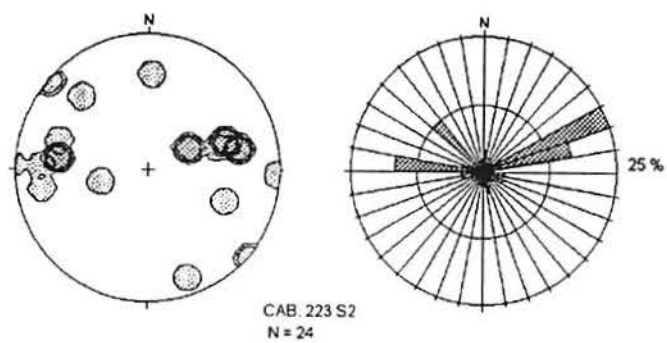
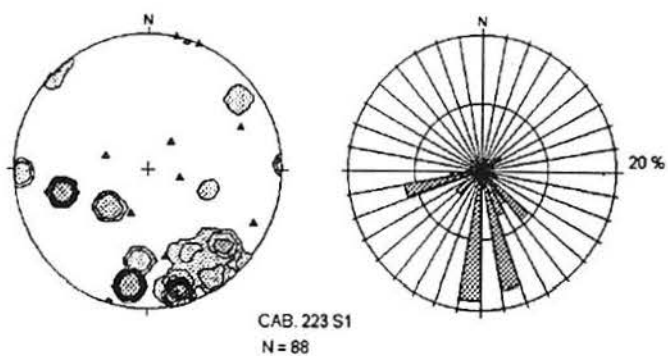
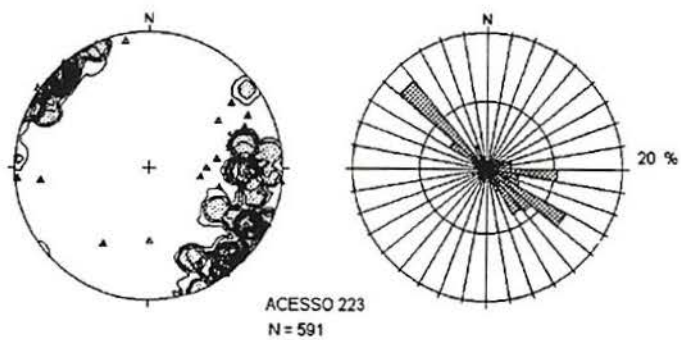
ANEXO B-4 Estereogramas e diagramas de rosetas dos pólos de descontinuidades.

NÍVEL 152



ANEXO B-5 Estereogramas e diagramas de rosetas dos pólos de descontinuidades.

NÍVEL 223





ENSAIOS EM AMOSTRAS DE ROCHA

Interessado: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Departamento de Engenharia de Minas - DEMIN.

Material Ensaiado: onze amostras de material rochoso proveniente de testemunhos de sondagem, identificadas pelo interessado conforme Tabela 1.

Solicitação do Interessado: ensaios de compressão uniaxial.

Período de Realização: de 20 a 25 de janeiro de 1995.

1



TABELA 1 - Identificação das amostras pelo usuário.

AMOSTRA	PROFUNDIDADE NO FURO (m)	LITOLOGIA
RB-06	7,5	Cataclasito quartzo diorítico
RB-07	9,0	Monzogranito
RB-08	5,8	Monzogranito
RB-10	3,0	Monzogranito
RB-14	0,9	Quartzo diorito
RB-15	2,6	Monzogranito
RB-19B	2,8	Brecha fluorítica
RB-19A	8,5	Quartzo diorito
RB-21A/B	26,0	Sienogranito
RB-24	13,6	Monzogranito

RESULTADOS

Descrição petrográfica macroscópica das amostras antes do ensaio:

AMOSTRAS RB-07 e RB-24

Rocha com muitas fraturas paralelas e/ou inclinadas em relação à geratriz do testemunho, muito alterada.

AMOSTRAS RB-08, RB-10, RB-19A e RB-19B

Rocha com fraturas paralelas e/ou inclinadas em relação à geratriz do testemunho, preenchidas.

AMOSTRAS RB-06, RB-14, RB-15, RB-21A e RB-21B.

Rocha maciça ou com raras fraturas perpendiculares ou inclinadas em relação à geratriz do testemunho.

Ensaio de resistência à compressão uniaxial:

Método de referência: "Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials: Part 1", ISRM - International Society of Rock Mechanics (1983).

Os resultados obtidos para a resistência à compressão uniaxial são apresentados na Tabela 2, juntamente com as características geométricas e físicas dos corpos-de-prova e informações adicionais sobre o ensaio.

TABELA 2 - Resultados dos ensaios realizados.

AMOSTRA	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	γ (g/cm ³)	VPOUL (km/s)	Umidade (%)	Velocidade de Carga (MPa/s)	RCU (MPa)	Modo de Ruptura
RB-06	5,43	11,00	3,12	2,53	0,70	0,93	85,9	RCS
RB-07	5,45	12,99	2,00	4,12	0,54	0,77	13,1	RCS
RB-08	5,47	11,81	2,47	4,07	0,75	0,74	31,3	RPF
RB-10	5,45	12,98	2,53	4,81	0,47	0,80	78,0	RCS
RB-14	5,43	12,95	2,87	5,99	0,17	0,82	101,5	RCS
RB-15	5,44	12,50	2,63	5,84	0,17	0,82	65,8	RCS
RB-19B	5,43	10,39	2,81	4,12	0,23	0,75	21,2	RCS
RB-19A	5,43	12,94	2,52	4,09	0,22	0,72	6,48	RPF
RB-21A	5,44	12,96	2,61	5,61	0,26	0,88	35,3	RCS
RB-21B	5,45	11,78	2,58	5,45	0,43	0,80	66,9	RCS
RB24	5,39	9,17	2,19	2,73	0,84	0,75	14,2	RCS

LEGENDA:

γ = massa específica aparente;

VPOUL = velocidade de propagação da onda ultra-sônica longitudinal;

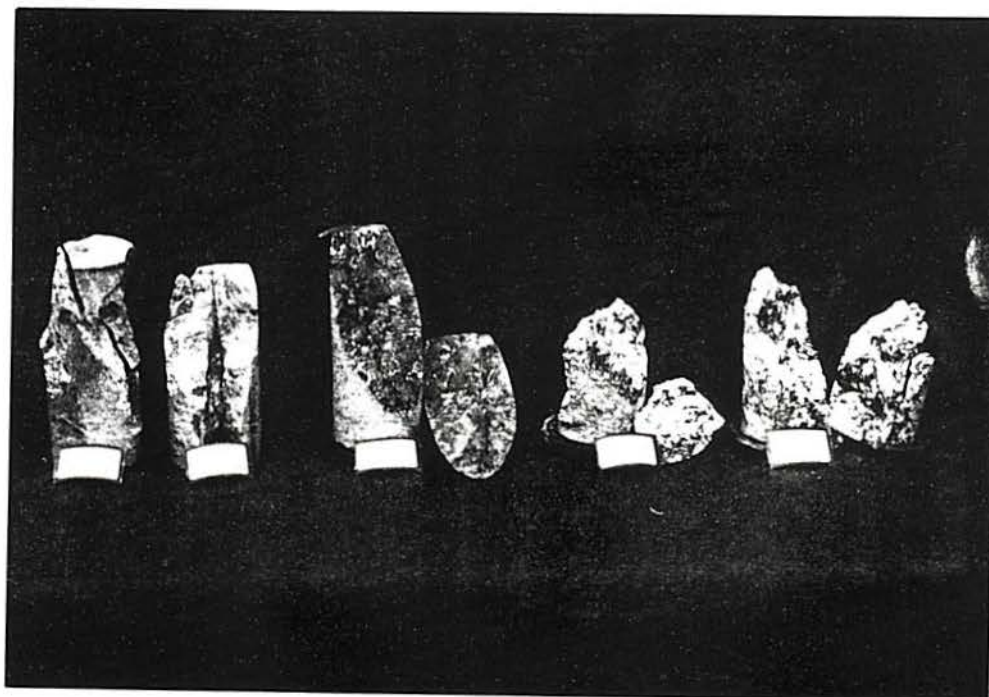
RCU = resistência à compressão uniaxial;

Modo de ruptura: RCS = ruptura por cisalhamento;

RPF = ruptura em plano de fratura pré-existente na rocha.

- Observações:** 1) os corpos-de-prova não atenderam à relação altura/diâmetro sugerida pelo método porque as amostras ou se apresentavam muito fraturadas e com elevado grau de alteração, ou com comprimento do testemunho inferior ao necessário;
- 2) nas amostras assinaladas com (*) foi utilizado capeamento de enxofre (2mm) nas bases de aplicação da carga para melhorar o contato entre os pratos da prensa e as faces do corpo-de-prova;

A Foto abaixo mostra corpos-de-prova após a ruptura. Nota-se, nos corpos-de-prova das amostras RB-19A, RB-24 e RB-07, que a ruptura ocorreu em planos de fratura pre-existent na rocha. Os corpos-de-prova da amostra RB-21A/B apresentam rupturas típicas por cisalhamento.



Rupturas típicas verificadas nos ensaios realizados.



TIPO DE DOCUMENTO

RELATÓRIO

NÚMERO

149579

PROCESSO N.

041730

Porto Alegre, 14 FEV 95

Eng. Ivone Maria Agostini

Gerente Substituto

Departamento de Recursos Minerais - DRM

Eng. Clovis Gonzatti

Responsável Técnico

CREA 66.726-D, 8ª Região